Medical Library

Ueber den

Einfluss der Anwendung transportabler pneumatischer Apparate auf die Circulation des gesunden Menschen.

(Eine experimentelle Untersuchung mittelst des von Basch'schen Sphygmomanometers.)

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

vorgelegt

der hohen medicinischen Fakultät

der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn

und mit den beigefügten Thesen vertheidigt

am 30. Juli 1881, Vormittags 11 Uhr,

von

Richard Lenzmann.

Bonn,

Universitäts-Buchdruckerei von Carl Georgi.

1881.

Meiner lieben Mutter.

Seitdem die Anwendung der transportablen pneumatischen Apparate in die Therapie eingeführt ist, seitdem man von competenter Seite behufs Behandlung zahlreicher Krankheiten im Gebiete des Respirations- und Circulationsapparates die comprimirte resp. verdünnte Luft empfohlen hat, wird die Frage nach der Wirkung, die dieses — wenn ich mich so ausdrücken darf — neu eingeführte Arzneimittel unter allen Umständen auf die Funktionen des menschlichen Organismus entfaltet, eine immer lebhaftere und nicht minder berechtigte. Denn wie es ein unumgängiges Bedürfniss ist, die Wirkung eines in die Thätigkeit des Organismus eingreifenden Medicamentes, — soweit dies überhaupt möglich ist, — zu kennen, falls für die Application desselben eine scharfe Indication aufgestellt werden soll, so ist dieses Bedürfniss nicht weniger dringend bezüglich der Anwendung des pneumatischen Apparates, und um so mehr, als die verschiedenen Athmungsmodi, die hier in Frage kommen, einen nicht geringen Eingriff in die Funktionen des Organismus erkennen lassen und desshalb wohl geeignet sind, richtig angewandt zu nützen, wie im entgegengesetzten Falle zu schaden. Dieser Eingriff erstreckt sich in hohem Grade auf die Funktionen des Circulationsapparates, was sich a priori aus der Thatsache schliessen lässt, dass schon die normale Athmung eine längst gewürdigte Rolle spielt unter den Vorrichtungen im Organismus, welche den Blutkreislauf zu unterhalten bestimmt sind. In welcher Absicht man auch immer die Athmung mit Hülfe des pneumatischen Apparates modificiren mag, die Wirkung auf den Circulationsapparat bleibt

nie aus, sie muss in den Kauf genommen werden. Die Einleitung der modificirten Athmung behufs Erfüllung auch einer Indication, welche sich nicht auf den Blutkreislauf erstreckt, setzt die Würdigung der Zustände, welche durch den jedesmaligen in Frage kommenden Athmungsmodus im Circulationsapparate hervorgerufen werden, voraus, weil im concreten Falle der eventuelle Erfolg nicht zum geringsten Theile jenen Zuständen zuzuschreiben ist. Dass desshalb die Kenntniss der Einwirkung der verschiedenen Athmungsmodi auf den Circulationsapparat von grossem Belange ist, liegt auf der Hand.

Wenn nun trotz den eingehenden Untersuchungen auf diesem Gebiete die mechanischen Einwirkungen der normalen Athmung auf den Blutkreislauf erst in neuerer Zeit richtig erkannt und begründet sind, so liegt schon darin der Beweis, dass die Forschungen nach dieser Richtung hin manchen Schwierigkeiten begegnen. Es darf uns desshalb nicht Wunder nehmen, wenn die Untersuchungen über die Einwirkung der modificirten Athmung auf die Circulation noch nicht als abgeschlossen betrachtet werden dürfen, denn hier kommen neben den mechanischen Einflüssen sicherlich noch solche in Betracht, die nur mit Berücksichtigung physiologischer Vorgänge im Gebiete nervöser Apparate ihre richtige Würdigung finden können. Es bleibt hier zu untersuchen, in wieweit der mit dem Athmungsorgane in Connex stehende nervöse Apparat bei der modificirten Athmung beeinflusst wird, und weiter, wie dieser Einfluss wieder zurückwirkt auf die Vorgänge bei der Circulation, was zu eruiren um so schwieriger sein dürfte, als die Akten über den Einfluss des Nervensystems auf den Blutkreislauf noch nicht geschlossen sind.

Die verschiedenen Untersuchungen nun, welche in neuerer Zeit, bezüglich der Einwirkung der modificirten Athmung in der bezeichneten Richtung, von verschiedenen Forschern angestellt worden sind, haben nicht gerade ein erfreuliches

Resultat gezeigt, insofern als die Letzteren nicht Alle zu demselben Ziele gelangt sind, vielmehr Wirkungen beobachtet haben, die nicht allein eine geringe, vielleicht auf der subjectiven Beobachtung beruhende Differenz aufweisen, sondern sich nicht selten diametral gegenüberstehen, so dass in diesem letzteren Falle an eine Versöhnung der Ansichten nicht zu denken ist. Entsprechend diesen einander entgegengesetzten Resultaten des Experimentes werden natürlich auch für dieselben passende Erklärungen gesucht und gefunden, und doch kann nur ein Resultat mit seiner ihm zukommenden Erklärung das richtige sein.

Um einen nur flüchtigen Einblick in diese Verschiedenheit der Ansichten zu thun, halte ich es für nöthig, die hauptsächlichste Litteratur, die in der neueren Zeit unseren vorliegenden Gegenstand behandelt hat, für einen Augenblick zu Rathe zu ziehen. Wir wollen zu diesem Ende aus den verschiedenen Athmungsmodificationen, welche bei der Anwendung der pneumatischen Apparate möglich sind, die Inspiration comprimirter Luft herausgreifen.

Waldenburg [1]), dem bekanntlich die Einführung der pneumatischen Therapie zum grossen Theile zu verdanken ist, kommt auf Grund seiner Beobachtungen am Menschen zu dem Schlusse, dass, so lange der Druck nicht über ein extremes Maass hinausgeht, bei Inspiration comprimirter Luft der arterielle Blutdruck steige, während Drosdoff und Botschetschkaroff [2]) durch ihre kymographischen Untersuchungen zu dem gerade entgegengesetzten Resultate gelangen. Nach diesen Forschern geht der Blutdruck bei Einathmung comprimirter Luft herab und bleibt während der ganzen Dauer des Experimentes unter der Norm.

---

1) Waldenburg. Die pneumatische Behandlung der Respirations- und Circulationskrankheiten u. s. w. Berlin 1880.

2) Ueber die Wirkung der Einathmung von verdichteter und verdünnter Luft. Drosdoff. Centralblatt f. d. med. Wissenschaften 1875.

Zuntz [1]), der in neuerer Zeit an Hunden experimentirte, schliesst sich im Wesentlichen den letzteren Forschern an. Er fand, dass bei Inspiration comprimirter Luft der Blutdruck im Anfange der ersten Inspiration um ein Geringes stieg, was während der ganzen Inspirationsphase fortdauerte; während der darauf folgenden Exspiration in die Atmosphäre fiel der Druck, um bei weiteren In- und Exspirationen unter der Norm zu bleiben. Nach etwa 3 Athemzügen hatten sich erst die der Einathmung comprimirter Luft entsprechenden Verhältnisse etablirt, welche noch mit fortdauerndem Absinken des mittleren Druckes während etwa 40 Secunden nach dem Experimente zu beobachten waren.

Um diese letzteren Ergebnisse zu deuten, müssen, wie auch Zuntz will, folgende Momente berücksichtigt werden.

Zunächst wird während der Inspiration comprimirter Luft der Druck innerhalb der Lunge selbst erhöht, so dass in Folge dessen der negative Druck, der ausserhalb der Lunge im Thoraxraume herrscht und bekanntlich aus dem Bestreben der Lunge, sich vermöge ihrer Elasticität zu contrahiren und die in ihr enthaltene Luft auszutreiben, resultirt, verringert wird und sich dem normalen Atmosphärendruck nähert. Die Saugkraft, welche normaler Weise während der tiefsten Inspiration auf das dem Thoraxraume zuströmende Blut ausgeübt wird, muss also an Effect verloren haben, eben weil der Werth der elastischen Kraft der Lunge, die zu Gunsten des Blutzuflusses zum Thorax wirken muss, nicht mehr von dem innerhalb der Lunge selbst herrschenden Atmosphärendruck, sondern wegen Anwesenheit von comprimirter Luft in der Lunge nun von einem erhöhten Druckwerthe subtrahirt werden muss. Normaler Weise ist nun die Saugkraft des Thorax ein wichtiges Moment zur Unterhaltung des Kreislaufs, speziell zur Speisung des rechten Ventrikels mit Blut,

---

1) Prof. N. Zuntz. Beiträge zur Kenntniss der Einwirkungen der Athmung auf den Kreislauf. Pflügers Archiv. Bonn 1878.

so dass, wenn dieses Moment in seiner Wirkung verkürzt wird, unbedingt ein nicht unwesentliches Hinderniss für die Blutzufuhr zum rechten Herzen geschaffen sein muss. Dieses Hinderniss ist natürlich gleich dann gegeben, wenn der geringste Abzug von dem negativen Druckwerthe ausserhalb der Lunge im Thorax in Frage kommt. Denn da die Saugkraft des Thorax, die ja sowohl während der In-, als auch Exspiration existirt, ein nothwendiges Postulat zur Unterhaltung des Kreislaufs darstellt, so darf man sich nicht der irrigen Ansicht hingeben, dass von einer Behinderung des Blutzutrittes zum rechten Herzen erst dann die Rede sein könne, wenn ein dem Atmosphärendruck gleichwerthiger oder gar diesen übertreffender Druck auf die in dem Thorax einmündenden Gefässbahnen ausgeübt werde. Wo die Grenze liegt, an der unter dem Einflusse comprimirter Luft überhaupt kein Blut mehr zum rechten Herzen gelangen kann, dürfte beim Menschen wohl schwerlich zu ergründen sein.

Wenn durch die Einwirkung der durch die Inhalation comprimirter Luft geschaffenen geringeren Saugkraft im Thorax auf die dem letzteren zustrebenden Gefässe eine Behinderung des Zuflusses zum rechten Herzen leicht ersichtlich ist, so ist es ebenso unschwer verständlich, dass der Einfluss dieser verminderten Saugkraft auf die das Blut aus dem Thorax abführenden Gefässe das entgegengesetzte Resultat haben muss. Dadurch, dass die normale, während der tiefen Inspiration ganz besonders hervortretende Saugkraft, welche das auf dem Wege aus dem Thorax begriffene Blut zurückzuhalten strebt und deshalb in ihrem Effecte von demjenigen der Herzarbeit abgezogen werden muss, durch Inhalation comprimirter Luft verringert wird, ist natürlich das aus dem Thorax ausfliessende Blut weniger behindert und das Herz in seiner Arbeit weniger genirt, als bei normaler Athmung. Jedoch ist gar nicht zu verkennen, dass dieser letztere Effect der verringerten Saugkraft gegenüber dem erst erwähnten, der sich auf die dem Thorax zustrebenden Venen erstreckt,

von untergeordneter Bedeutung ist; denn wie zur Erhaltung seiner lebendigen Kraft der Venenblutstrom auf die Saugkraft im Thorax angewiesen ist und deshalb einen empfindlichen Verlust seiner Bewegung erfährt, wenn diese gewöhnte Unterstützung, wenn auch nur zum Theile, ihm entzogen wird, so wird der Blutstrom in den grossen, dem Herzen so nahe liegenden Arterien, der noch unter dem vollen Einflusse der Herzarbeit steht, nur wenig durch die Saugkraft des Thorax bei normaler Athmung beeinträchtigt und desshalb auch, bei Abnahme dieser Saugkraft, nur in kaum merklichem Maasse modificirt werden können.

Ein drittes Moment, welches bei der Erläuterung der von Zuntz gewonnenen Resultate der Inspiration comprimirter Luft in die Wagschale fällt, liegt in der Frage: Wie wirkt denn der durch den bezeichneten Inspirationsakt in der Lunge constituirte erhöhte Luftdruck auf die Lungengefässe selbst?

Funke und Latschenberger[1]) haben, gestützt auf Experimente mit einem Gummischlauche, auf die hier nicht näher eingegangen werden mag, die Ansicht ausgesprochen, dass durch jede bei normaler Inspiration stattfindende Dehnung der Lunge auch eine solche der Lungengefässe zu Stande komme, welche ihrerseits eine Verringerung des Lumens dieser Gefässe zur Folge habe. Zuntz glaubt dieser Ansicht nicht beipflichten zu dürfen. Er kommt auf dem Wege einfacher Berechnung zu dem Resultate, dass die mögliche Verengerung der Lungengefässe beim Inspirationsakte eine nur sehr geringe sei, welche durch die Kraft, mit welcher das durchströmende Blut die elastische Gefässwand auszudehnen strebt, nicht allein vollkommen aufgehoben, sondern gar übercompensirt werden könne. Für unsern Fall kommt aber ein weiterer Umstand in Betracht. Durch Inspiration compri-

---

1) Ueber die Ursachen der respiratorischen Blutdruckschwankungen im Aortensysteme. Archiv für die ges. Physiologie. Band 15.

mirter Luft wird nicht allein eine bis aufs Höchste gesteigerte Ausdehnung der Lunge erzielt, sondern es lastet ausserdem ein die Norm übersteigender Druck auf dem Innern der Lunge mit seinen Gefässen, welcher wohl geeignet ist, das Lumen der letzteren zu beeinträchtigen. Ist uns auch der Druck, welcher beim Menschen in den Pulmonalgefässen herrscht, nicht genau bekannt, so ist es doch mehr, wie wahrscheinlich, dass eine so kräftige Einblasung in die Lunge, wie sie bei Inspiration nicht allzu gering comprimirter Luft stattfindet, dem im Innern der Gefässwand normaler Weise existirenden Drucke mit Erfolg entgegenzuwirken vermag. Auch Zuntz[1]) glaubt, in diesem Punkte Kowalewsky, der Experimente nach dieser Richtung hin angestellt hat und zu positiven Resultaten gekommen ist, Recht geben zu müssen.

Wenn nun durch den höhern Luftdruck in der Lunge selbst eine Verringerung der Lumina ihrer Gefässe gegeben sein muss, so tritt hier die zu entscheidende Frage auf: In wieweit kann dieser Effect mitwirken an dem Zustandekommen der Vorgänge im Circulationsapparate, welche wir bei Inhalation comprimirter Luft eintreten sehen? Es liegt sehr nahe, anzunehmen, dass, da wegen der Verringerung der Gefässlumina, falls durch diese die normale Blutmenge durchgetrieben werden soll, ein höherer Druck innerhalb der Gefässbahn und eine raschere Fortbewegung der einzelnen Bluttheilchen statuirt werden muss, der rechte Ventrikel diesem Ansinnen nicht gerecht werden könne, und deshalb in jeder Zeiteinheit nur ein geringeres Blutquantum durchzutreiben im Stande sei; auf diese Weise müsse der linke Ventrikel zu dürftig gespeist werden. Diese Annahme, so berechtigt sie auch ist, hat doch eine bedeutende Einschränkung erfahren durch die Experimente Lichtheims[2]), die derselbe an Hun-

---

1) a. a. O.

2) Dr. Ludwig Lichtheim. Die Störungen des Lungenkreislaufes und ihr Einfluss auf den Blutdruck. Berlin 1876.

den anstellte. Es sei mir hier nur gestattet, kurz die Resultate zu berühren, welche dieser Forscher anzunehmen berechtigt war: „Bei Verschluss einzelner Abschnitte der Lungenarterie strömt durch den offen gebliebenen Rest derselben dieselbe Blutmenge, wie vorher durch den gesammten Querschnitt der Gefässbahn. Dies wird erreicht durch Drucksteigerung in den offen gebliebenen Abschnitten und durch die aus der Drucksteigerung gleichzeitig resultirende Strombeschleunigung und Dehnung der Gefässwände. Dieser Mechanismus ist im Stande, die Folgen sehr erheblicher Gefässverschliessung bis zu drei Viertel der Lungenarterienbahn zu compensiren, nach Ueberschreitung dieser Grenze wird aber der Blutzufluss zum linken Herzen trotz des weiteren Ansteigens des Druckes im offen gebliebenen Rest verringert und der Druck im Aortensystem sinkt."

Diese Resultate versichern uns, dass wir von dem Stromhindernisse, welches sich in der Lunge selbst in Folge der Verringerung der Gefässlumina etablirt, keine primäre resp. directe Aenderung in der Circulation des Lungenblutes zu erwarten haben, denn es ist doch wohl nicht anzunehmen, dass bei dem Grade der Luftverdichtung, welche wir bei Inspiration comprimirter Luft anwenden, eine solche Reduction der Gefässbahn zu Stande komme, welche nach Lichtheims Erfahrung nicht mehr vom rechten Herzen compensirt werden kann.

Hierbei ist ferner nicht aus dem Auge zu lassen, dass dasselbe Moment, welches eventuell eine Verringerung der Gefässlumina in der Lunge zur Folge hat, auch immer, wie wir schon hervorgehoben haben, eine Behinderung für die lebendige Kraft ist, mit welcher das dem Thorax zuströmende Venenblut seinen Weg zurücklegt. Es wird also auf der einen Seite dem rechten Ventrikel weniger Blut in derselben Zeiteinheit zugeführt, wie normal, auf der andern Seite jenem der Weg, auf welchem er das Blut zum linken Herzen bewegen soll, unbequemer gemacht, so dass, wenn er dieselbe

Blutmenge, wie unter normalen Verhältnissen, durch diese engere Gefässbahn befördern will, er eine grössere Arbeit leisten muss, was er, wie aus den Experimenten Lichtheims hervorgeht, auch in der That bis zu einem gewissen Grade vermag. Wird ihm aber aus dem venösen System, wie dies ja bei Inhalation comprimirter Luft der Fall ist, eine geringere Blutmenge, wie vordem, zugeführt, so wird er, falls dieses Minus an Blutquantum zu dem durch dasselbe Moment bewirkten Minus an Gefässlumen in einem bestimmten Verhältnisse steht, trotz dem schwierigeren Wege, den das Lungenblut zurückzulegen hat, mit dem Aufwande der früheren Kraft auskommen können. Ob ein solches bestimmtes Verhältniss existirt, mag unerörtert bleiben, jedoch soviel scheint mir aus meiner Betrachtung hervorzugehen, dass, wenn auch das eben berührte Verhältniss zu Ungunsten des rechten Ventrikels ausfällt, doch die Grenze, an welcher der letztere nicht mehr zu compensiren vermag, hier in unserm speziellen Falle, wo die Verengerung der Gefässbahn in der Lunge durch ein Moment bewirkt wird, welches auch zu gleicher Zeit dem rechten Ventrikel weniger Blut zukommen lässt, noch viel weiter gesteckt werden muss, als in dem Falle Lichtheims, welcher die Verengerung der pulmonalen Bahnen durch Unterbindung der einen Lungenarterie und durch Einschwemmen von Emboli in die andere hervorbrachte.

Es bleibt somit als der einzige Effect, den die Inhalation comprimirter Luft in directer Weise auf den pulmonalen Kreislauf auszuüben vermag, die Möglichkeit übrig, dass, in dem Moment des Einströmens der Luft in die Lunge, durch Compression der Gefässe ein Auspressen des Blutes nach dem linken Ventrikel hin stattfindet, welche Möglichkeit auch Zuntz in seiner oben citirten Schrift zulässt.

Ehe wir die Betrachtung aller der Momente, welche bei der Erläuterung der Effecte der Einathmung comprimirter Luft berücksichtigt werden müssen, verlassen, bleibt uns noch ein wichtiger und schwieriger Punkt zu erörtern übrig.

Es ist nämlich nicht möglich, die Erklärung der Athemschwankungen des Blutdrucks von einem einheitlichen mechanischen Principe abzuleiten, vielmehr sehen wir uns gezwungen, auch die Thätigkeit der mit dem Athmungsapparate und dem Gefässsysteme in Zusammenhang stehenden nervösen Apparate und vor Allem ihre Correlation zu einander näher ins Auge zu fassen. Durch experimentelle Untersuchungen an Hunden hat Hering gezeigt, dass eine mässige Aufblasung der Lungen die Zahl der Herzschläge vermehrt; als weitere Folge dieser Aufblasung konnte er ein Sinken des Blutdrucks wahrnehmen, das gewöhnlich noch vor der Beschleunigung im Rhythmus der Herzcontractionen sich einstellte. Diese Aenderung in der Schlagfolge des Herzens kommt, wie Hering bemerkt, nur auf reflectorischem Wege zu Stande. Nicht etwa die Behinderung des Kreislaufs, auch nicht die bessere Versorgung des Blutes mit atmosphärischem Sauerstoff, die bei der Einathmung comprimirter Luft stattfindet, ist es, welchem dieses Resultat zuzuschreiben ist, denn dasselbe kommt auch zu Stande, falls das Experiment bei erniedrigtem oder erhöhtem Drucke im Aortensystem eingeleitet wird, und auch dann noch, wenn das Blut vom Centralorgane abgeschnitten ist, oder Wasserstoff zur Aufblasung der Lunge benutzt wird. Nach Hering haben wir uns vielmehr das Zustandekommen obigen Phänomens folgender Maassen zu denken. Das hemmende Centrum des Vagus befindet sich stets in einem Zustande der Erregung, welcher Zustand durch einen centripetal verlaufenden Nervenprocess aufgehoben oder doch gemildert werden kann. Dieser centripetal verlaufende Nervenprocess findet seine Localisation in den sensiblen Nerven der Lunge, so dass, wenn diese erregt werden, der Tonus der Hemmungsfasern des Herzens herabgesetzt werden und eine raschere Schlagfolge des Herzens der Effect sein muss. Jene Erregung der sensiblen Lungennerven findet nun Statt durch jede nicht allzu starke Lungenaufblasung. Die sensiblen Lungennerven verhalten sich

also nach dem genannten Autor in demselben Sinne zu dem Hemmungscentrum des Herzens, wie der Nervus depressor zum vasomotorischen Centrum. Auch der Tonus dieses Centrums wird — und dies geschieht meist früher — durch die Lungenaufblasung herabgesetzt, so dass wir als Resultat haben: Herabsetzung des Tonus des vasomotorischen Centrums, in Folge dessen Erweiterung der Blutgefässe und Sinken des Blutdrucks, sodann Milderung des Erregungszustandes des Hemmungscentrums des Herzens, in Folge dessen grössere Frequenz der Herzschläge. In neuester Zeit sind bezüglich dieses Gegenstandes auch Untersuchungen am Menschen von Sommerbrodt[1]) angestellt worden, auf dessen ausgezeichnete Arbeit im Laufe meiner Abhandlung hinzuweisen ich mir noch vorbehalte.

Durch die verschiedenen Athmungsmodificationen, welche bei Benutzung comprimirter resp. verdünnter Luft in Frage kommen, muss auch eine Aenderung im Gaswechsel des Blutes eintreten. Entweder kommt eine vollkommnere Ventilation des Blutes zu Stande, wie wir dies z. B. bei Inhalation comprimirter Luft wohl supponiren können, oder die Entgasung des Blutes wird eine unvollkommene, so dass sich in Folge dessen irrespirable Gase in grösserer Menge, wie dies normaler Weise der Fall ist, im Blute anhäufen.

Zuntz hat nun durch Experimente an Thieren festgestellt, dass die Erstickung einen wesentlichen Einfluss auf den Blutdruck ausübt, so zwar, dass bei Erstickung eine Contraction der Darmgefässe fast bis zum Verschwinden ihres Lumens eintritt, was seinerseits einen höhern Blutdruck in den übrigen Gefässen zur Folge haben muss. Neben dieser Erhöhung des Blutdrucks konnte der genannte Forscher eine Verlangsamung der Herzschläge, die durch Reizung des

---

1) Die reflectorischen Beziehungen zwischen Lunge, Herz und Gefässen. Von Dr. Jul. Sommerbrodt. Zeitschrift für klin. Med. II. B. 3. Heft.

Vagus zu Stande kam, beobachten. Jener höhere Blutdruck stellt sich auch dann ein, wenn in irgend einem Organe des Körpers ein zu unergiebiger Gaswechsel, eine „locale Dyspnoë" zu Stande kommt, indem in diesem Falle die dem Organe selbst angehörigen Gefässe erweitert, dagegen die übrigen Gefässgebiete verengert werden. Umgekehrt hat die Apnoë, der Zustand, in welchem alle Organe reichlich mit Blut versorgt sind, das ihnen den Sauerstoff in genügender Menge zuführt, eine Erweiterung der Gefässe und Herabsetzung des Blutdrucks, also auch eine Verlangsamung der Strömung zur Folge.

An der Hand aller dieser im Vorhergehenden beleuchteten mechanischen und physiologischen Momente, die bei Inhalation comprimirter Luft in Betracht kommen, wird es nicht schwer fallen, die Erscheinungen, welche uns bei diesem Athmungsmodus entgegentreten, zu analysiren. Wir werden jenen immer wieder bei der Erläuterung der Effecte auch aller übrigen Modificationen begegnen, bei denen sie mutandis mutatis dem Principe nach ihre Gültigkeit behalten, wenigstens insoweit, als die mechanischen Momente in Frage kommen.

Wir haben die Berücksichtigung jener mechanischen und physiologischen Momente angeknüpft an die Inhalation comprimirter Luft, ein Beispiel, welches wir aus den verschiedenen möglichen Anwendungsweisen des pneumatischen Apparates herausgegriffen haben, und haben stillschweigend die Resultate, welche Zuntz gefunden hat, zu Grunde gelegt.

Wir haben aber schon oben darauf aufmerksam gemacht, dass Waldenburg, der zahlreiche sphygmographische Untersuchungen an Menschen angestellt hat, bei der Erprobung der Wirkung der verschiedenen Athmungsmodificationen zu Resultaten gelangt ist, welche mit denjenigen von Zuntz, Drosdoff und Botschetschkaroff und mehreren andern Forschern in argem Widerspruche stehen.

Waldenburg[1]) findet, wie schon oben bemerkt wurde, eine Steigerung des Blutdrucks bei Inspiration comprimirter Luft. Er schliesst diese Steigerung aus Sphygmogrammen, die er an gesunden Menschen gewonnen hat; seine Curve steigt allmählich, die einzelnen Erhebungen werden zwar niedriger, verlieren jedoch ihre Rückstosselevation, um an Stelle derselben Elasticitätselevationen aufzuweisen. Waldenburg erklärt sich diese Drucksteigerung aus der erhöhten Energie, mit welcher die einzelnen Herzcontractionen unter dem Abnehmen des negativen Drucks im Thorax ausserhalb der Lunge zu Stande kommen sollen. Auch er lässt zu, dass eine Stauung im venösen System sich etabliren muss, und dieser Stauung schreibt er zum Theil den von ihm beobachteten Pulsus plenus zu. Einen nervösen Einfluss glaubt er behufs Erläuterung seiner Resultate aus dem Spiele lassen zu können, er gibt nur eine mögliche Modification der Frequenz der Herzcontractionen zu, welche aber nach seiner Ansicht eine nur nebengeordnete Rolle spielen unter den Effecten, die bei Inhalation comprimirter Luft zur Beobachtung gelangen.

Wie sollen wir uns aus dieser Differenz der Resultate und Ansichten herausfinden? Wie sollen wir uns eine Anschauung bilden von der Wirkung der Anwendung pneumatischer Apparate, wenn sich die Forscher in zwei sich gegenüberstehende Heerlager theilen, deren Versöhnung unmöglich scheint? Wie sollen wir es zusammenreimen, wenn die eine Partei ausser den mechanischen Einwirkungen unbedingt noch einen sogar vielbedeutenden Einfluss auf nervöse Apparate annehmen zu müssen glaubt zur Erklärung der Resultate, welche die andere Partei nicht gesehen hat und desshalb auch ihre eigenen nach eigener Manier erklärt? Diese Fragen müssen sich Jedem aufdrängen, der sich mit dem Studium über das Verhalten des Organismus gegenüber dem Gebrauche comprimirter resp. verdünnter Luft beschäftigt.

---

1) a. a. O.

In Anbetracht dieser Sachlage hielt ich es für eine nicht undankbare Arbeit, die Einwirkung der Anwendung transportabler pneumatischer Apparate auf die Circulation des gesunden Menschen zum Gegenstande einer näheren experimentellen Untersuchung zu machen. Ich glaubte um so mehr, Veranlassung hierzu finden zu müssen, als mir behufs des Experimentes ein Instrument zu Gebote stand, das erst in neuester Zeit vom Erfinder der Oeffentlichkeit übergeben ist und das meines Wissens bis jetzt zu ähnlichen Zwecken noch nicht verwandt wurde. Bisher hat man den Blutdruck, wie er sich aus der Einleitung der verschiedenen Athmungsmodi ergiebt, beim Menschen aus der Gestalt, Grösse etc. der Pulsbilder geschlossen, man hat bestimmte Kriterien an den Sphygmogrammen gefunden, welche für ein bestimmtes Verhalten des Blutdrucks sprechen. So geistreich diese Kriterien bestimmt und aufgefasst sind und so untrüglich sie für ein bestimmtes Verhalten des Blutdrucks sprechen mögen: die Möglichkeit kann nicht weggeleugnet werden, dass verschiedene Forscher unter denselben Verhältnissen nicht nur verschiedene Pulscurven erzielen können, sondern auch, falls dieselben gleich sind, aber nicht gerade ganz prägnante Kriterien aufweisen, aus ihnen noch verschiedene Schlüsse ziehen, die subjectiven Ansichten entspringen. Diesem Umstande mag zum Theil die Verschiedenheit der Resultate zuzuschreiben sein. Mit Hülfe des von Basch'schen Sphygmomanometers kann, wie ich glaube, weniger leicht eine subjective Ansicht zur Geltung gelangen, weil dieser Apparat es ermöglicht, den Blutdruck beim Menschen direct zu bestimmen, ohne sich denselben erst aus den Pulsbildern construiren zu müssen. Ein weiterer Vortheil des Apparates scheint mir darin zu liegen, dass derselbe uns Zahlenwerthe bietet, durch die wir die jedesmal gewonnenen Resultate ausdrücken können.

Eine genauere Beschreibung des Apparates selbst und eine kritische Beleuchtung seiner Brauchbarkeit resp. seiner

Mängel will ich mir ersparen, verweise vielmehr bezüglich dieser Fragen auf die Abhandlung des Erfinders[1]) und die unten citirte Schrift von Zadek[2]). Es sei hier nur erwähnt, dass von Basch von der Möglichkeit ausgegangen ist, den Druck, unter welchem eine in einer elastischen Röhre fliessende Flüssigkeit steht, dadurch zu bestimmen, dass von aussen auf diese Röhre ein Druck ausgeübt wird, welcher das Lumen derselben zum Verschwinden bringt. Damit dieser Druck gleichmässig und auf möglichst viele Punkte der Oberfläche des oben erwähnten elastischen Rohres wirken könne, wird derselbe an unserm Apparate bewerkstelligt durch eine sogenannte „flüssige" Pelotte aus Seidenstoff, welche eine Quecksilbersäule trägt, so zwar, dass das Quecksilber, je nachdem mit der Pelotte ein grösserer oder geringerer Druck ausgeübt wird, steigt oder fällt und somit, eine höhere oder niedrigere Säule darstellend, uns einen Massstab gibt für den Druck, welcher aufgewandt werden musste, um das Lumen des Rohres zum Verschwinden zu bringen.

Es leuchtet Jedem ein, dass diese Art des Experimentirens keine ganz exacte sein kann, denn wir messen auf die eben erwähnte Weise nicht allein den Druck, unter dem die in dem elastischen Rohre fliessende Flüssigkeit steht oder, besser gesagt, wir paralysiren nicht allein die Kraft, mit der die in dem elastischen Rohre fliessende Flüssigkeit auf jeden Punkt der innern Oberfläche der Wand dieses Rohres drückt und dasselbe auszuweiten strebt, sondern wir müssen auch den Kraftwerth des Widerstandes messen, welchen das in Frage stehende elastische Rohr, falls es im leeren Zustande ist, dem Verschwinden seines Lumens entgegensetzt. Der

---

1) Prof. Dr. S. von Basch. Ueber die Messung des Blutdrucks am Menschen. Zeitschrift für klinische Medicin. II. B. 1. Heft p. 79.

2) Dr. J. Zadek. Die Messung des Blutdruck am Menschen mittelst des Basch'schen Sphygmomanometers. Zeitschrift für klin. Med. II. B. 3. Heft.

letztere Werth ist natürlich sehr variabel je nach der Grösse des jedesmaligen Elasticitätscoëfficienten des Rohres.

Betrachten wir das oben erwähnte Princip mit Rücksicht auf die menschliche Arterie, so werden wir finden, dass hier dieser zuletzt in Rechnung gezogene Factor wohl kaum in Betracht kommt. Abgesehen davon, dass, — wie von Basch an Arterien frischer Leichen constatiren konnte — der Widerstand, den eine leere Arterie dem Verschwinden ihres Lumens entgegensetzt, ein äusserst geringer ist, muss uns der Muskeltonus, unter welchem eine lebende Arterie steht, als eine Kraft imponiren, welche bestrebt ist, das Lumen der Gefässe zum Verschwinden zu bringen, und desshalb von dem hierzu nothwendigen von aussen wirkenden Druckwerthe abzurechnen ist, so dass dieser verschwindend klein oder gar, falls dieser Muskeltonus ausreicht, das Lumen des leeren Gefässes eventuell aufzuheben, gleich Null wird. Von Basch hält es sogar für möglich, dass unter Umständen das zufolge des Muskeltonus der Arterie innewohnende Bestreben, sich zu contrahiren, grösser werden könne, als der äussere Druckwerth, welcher zum Aneinanderdrücken ihrer Wände nothwendig ist, und aus diesen Gründen die Zahl, welche für den Druck, unter dem das in dem Gefässe fliessende Blut steht, gewonnen werde, zu klein ausfallen könne. Wie dem auch sei, jedenfalls ist die berührte Ungenauigkeit des Experimentes eine so geringe, dass sie füglich vernachlässigt werden kann.

Ueber das Gewicht und die Bedeutung der weiteren Momente, welche beim Experimente am Menschen Schwierigkeiten bereiten, wie die über der Arteria radialis liegende Haut mit Panniculus adiposus, die ungeeignete Lage der Arterie bei vielen Menschen, die es unmöglich macht, das Gefäss gegen eine feste Unterlage anzudrücken, — was für die Genauigkeit des Experimentes unbedingt nothwendig ist — ist in genügend ausführlicher Weise in den oben citirten Schriften gehandelt, wesshalb ich ihre Besprechung hier

übergehen zu dürfen glaube. Ich habe ihrer nur Erwähnung gethan, um anzudeuten, dass sich bei Weitem nicht Jeder zum Experimente eignet, und dass die richtige Handhabung des von Basch'schen Instrumentes auch unter möglichst günstigen Verhältnissen eine nicht geringe Uebung und vor Allem Geduld erheischt. Die Versuche sind zum grössten Theile an mir selbst ausgeführt, aus dem einfachen Grunde, weil mein Arm die denkbar günstigsten Bedingungen zur Messung des Blutdrucks bietet. Meine Radialis liegt nämlich, weil ich einen nur ganz unbedeutenden Panniculus adiposus aufweisen kann, so oberflächlich, dass man den Puls auf eine ganze Strecke weit sehr schön sehen kann, und so günstig neben dem Radius, dass sie mit Leichtigkeit gegen denselben anzudrücken ist.

Es war bei unsern Experimenten von grossem Belang, dass der Blutdruck in möglichst kurzen Zwischenräumen immer wieder gemessen und zu diesem Behufe die richtige Stellung des Instrumentes, in welcher die Höhe der Quecksilbersäule gerade genügte, um die Arterie zu comprimiren, möglichst rasch und exact erzielt werden konnte. Das von Basch'sche Stativ schien uns diesem Erfordernisse nicht ganz zu entsprechen, weil, falls wir das einfache Stativ benutzen und das Instrument mit der Hand auf die Radialis aufdrücken wollten, man schliesslich wegen des so oft nothwendigen Wechsels in der Dosirung des Druckes unsicher wurde, während das vom Erfinder angegebene Stativ, welches erlaubt, das Instrument mittelst einer Mikrometerschraube aufzudrücken, bei seiner Anwendung für die jedesmalige Druckbestimmung zu viel Zeit in Anspruch nahm. Herr Professor Dr. Finkler, der mich bei der Ausführung der Experimente bereitwilligst unterstützte, schlug mir desshalb als Stativ des Sphygmomanometers eine andere Vorrichtung vor, mittelst deren eine möglichst rasche Application desselben geschehen konnte. Das Instrument wurde mit Bleiringen, welche, die Glasröhre umfassend, auf dem messingenen Ver-

schlussdeckel des die Pelotte an seinem untern Ende tragenden Theiles des Instrumentes ruhten, so belastet, dass, wenn die Pelotte auf die Radialis aufgesetzt wurde, diese schon durch das Gewicht des beschwerten Instrumentes unter allen Umständen bis zum Verschwinden des Pulses zusammengedrückt wurde. Das so belastete Instrument wurde nun mittelst Schrauben an einen Querbalken befestigt, der an einer Hülse sass, welche ihrerseits auf einem verticalen Messingstab mit Leichtigkeit auf- und abbewegt werden konnte. Um diese Bewegungen der Hülse genau dosiren zu können, war an dieselbe ein Seidenfaden angebracht, der zunächst über eine in das obere Ende des verticalen Messingstabes eingelassene Rolle lief, sich dann parallel dem eben erwähnten Stabe nach abwärts wandte, um am untern Ende desselben noch einmal über eine dort befindliche, ebenfalls eingelassene Rolle geleitet zu werden und endlich sich zu einer in dem Tische, der dem ganzen Stativ zur Stütze diente, befestigten Schraube zu begeben, auf deren Axe er aufgewunden werden konnte. Die Schraube konnte durch einen Sperrhaken an ihrer Bewegung gehindert werden. Je nachdem man nun den Faden mittelst der Schraube anzog oder ihn von derselben abliess, wurde die Messinghülse und mit ihr das Sphygmomanometer gehoben oder gesenkt. Das Sinken des Instrumentes musste, da dasselbe ja belastet war, vermöge seiner Schwere ohne aktives Zuthun von Seiten des Experimentators vor sich gehen, indem der Faden angespannt und, während die Schraube sich drehte, von dieser abgewickelt wurde, das Heben des Instrumentes wurde natürlich durch das Drehen der Schraube in entgegengesetzte Richtung bewerkstelligt.

Die Application wurde nun so vorgenommen, dass der Experimentator mit der linken Hand den Puls des Versuchsobjectes fasste, während er mit der rechten den Sperrhaken wegzog, so dass jetzt das Sphygmomanometer, indem der Faden abgewickelt wurde, sank und vermöge seiner Schwere

auf die Arterie drückte, so dass der Puls sofort verschwand. Jetzt wurde mit der rechten Hand, die an der Schraube geblieben war, diese in entgegengesetzter Richtung gedreht, der Faden also aufgewickelt, die Hülse mit dem an ihr befestigten Sphygmomanometer gehoben so lange, bis eben der Puls wieder zu fühlen war. Während also zuerst ein zu grosser Druck ausgeübt wurde, war derselbe jetzt zu gering, und es war erforderlich, indem man die Schraube mit der rechten Hand dirigirte, das Instrument wieder so lange sinken zu lassen, bis der eben noch fühlbare Puls wieder verschwand. Auf diese Weise war eine doppelte Controlle gegeben, dass der möglichst richtige und genaue Druck ausgeübt war. Es ist leicht verständlich, dass die drei Akte, welche zu einer jedesmaligen Druckbestimmung nothwendig waren, bei einiger Uebung äusserst rasch vollendet werden konnten. Behufs Ausübung des ersten Aktes bedarf es nur eines Momentes, des Wegziehens des Sperrhakens, während der zweite und dritte Akt wegen der vollkommenen Art, wie die Bewegung der Hülse und mit ihr die des Instrumentes erzielt werden kann, nicht minder exact von Statten gehen.

Trotz dieser doch jedenfalls guten Handlichkeit des Apparates bedarf, wie schon gesagt, die Application desselben einer nicht geringen Uebung und der Beobachtung mehrerer Vorsichtsmassregeln, da der geringste Fehler in der Stellung des Apparates, Lagerung der Hand etc. unsichere und uncorrecte Resultate gibt. Das Fühlen des Pulses strengt, weil es eine ganz besondere Aufmerksamkeit erheischt, den Experimentator sehr an, so dass jede Sitzung schon desswegen eine nur kurze Zeit dauern darf. Der Arm des Versuchsobjectes muss sehr ruhig und stets genau an demselben Orte liegen, damit, wenn das Sphygmomanometer auf die Arterie heruntersinkt, die Pelotte auf die gewöhnte Stelle trifft, welche man daran als die richtige erkennt, dass, wenn auf sie gedrückt wird, der Puls momentan und, ohne unregelmässige, an Kraft und Frequenz verschiedene Schläge zu

machen, verschwindet [1]). Bei der Anwendung des Sphygmomanometers kann man sich natürlich nur das Ziel setzen, den Blutdruck innerhalb gewisser auf einander folgender Zeiträume zu messen, die bei der oben erwähnten Einrichtung des Apparates möglichst kurze sein können. Ein Bild von jedem Puls zu gewinnen, wie dies beim Gebrauche des Sphygmographen der Fall ist, davon kann natürlich nicht die Rede sein. Die Anwendung des von Basch'schen Instrumentes erlaubt uns nur, zu entscheiden, ob binnen eines gewissen Zeitraumes der Blutdruck gestiegen oder gesunken ist, gewährt uns also nur ein allgemeines Bild von dem jedesmaligen Verhalten des Blutdrucks und lässt desshalb nur eine allgemeine Uebersicht über den Effect bezüglich des Blutdrucks bei den verschiedenen Athmungsmodificationen zu, drückt diesen aber — und darin liegt der Vortheil — in Zahlen aus, so dass wir nicht gebunden sind, zu sagen: Der Blutdruck hat sich bei dieser Athmungsphase nach der einen oder anderen Seite hin geändert, sondern entscheiden können, um wieviel er anders geworden ist. Dass aus dieser letztern Möglichkeit mancher Vortheil für die Erklärung der gefundenen Thatsachen entspringt, davon werden wir im Laufe dieser Abhandlung uns an mehreren Stellen überzeugen können.

---

1) Mit der Methode, welche von Basch angegeben hat, um das Verschwinden des Pulses zu markiren, und welche darin besteht, dass mittelst eines Gummiringes ein elastisches Stäbchen auf die Arterie gedrückt wird, das die Excursionen der Arterienwand mitmacht und sie an einem zweiten Stabe, etwa einer Nadel, die an seinem äussern Ende vertical aufsitzt, zeigt, konnten wir uns nicht recht befreunden, da wir wegen der geringen Bewegung dieser Vorrichtung kaum eine Entscheidung zu treffen im Stande waren, ob denn der Puls wirklich verschwunden war oder ob er noch existirte. Das Fühlen des Pulses gab bei der nöthigen Uebung des Experimentators sicherere Auskunft.

Wir haben zunächst die Wirkung untersucht, welche der Valsalva'sche Versuch auf die Circulation äussern muss. Derselbe besteht bekanntlich darin, dass, nachdem vorher möglichst tief inspirirt worden ist, eine kräftige Exspirationsanstrengung bei geschlossener Glottis gemacht wird. Der Versuch muss in seinen Resultaten ähnlich der Inhalation comprimirter Luft sein, insofern als auch die in den Lungen befindliche und trotz der forcirten Exspiration in denselben zurückgehaltene Luft comprimirt werden muss. Es liegt der Unterschied hier nur darin, dass bei Inhalation comprimirter Luft der grössere Druck innerhalb der Lunge allmählich statuirt wird, weil erst im Laufe der Inspiration die Druckverhältnisse der Lungenluft und derjenigen des Apparates sich auszugleichen vermögen, während beim Valsalva'schen Versuche die der Lunge durch die forcirte Inspiration einverleibte Luft am Anfange der starken Exspiration sofort das Maximum der möglichen Compression erfährt und dasselbe behält bis zur wirklichen Exspiration bei geöffneter Glottis. Es ist desshalb wohl zu erwarten, dass die Wirkung des in Frage stehenden Versuches eine analoge derjenigen der Inspiration comprimirter Luft ist, jedoch jedenfalls prägnanter ausfällt.

Versuch I.

Versuchsanordnung:

Nachdem der Blutdruck bei gewöhnlicher Athmung durch mehrmalige Messungen bestimmt war, wurde tief inspirirt und bei geschlossener Glottis kräftig exspirirt. Während der Exspirationsanstrengung wurde dann der Blutdruck wiederum zwei Mal gemessen, die letzte Messung geschah nach der Exspiration bei geöffneter Glottis.

Druck bei normaler Athmung	140 mm
Während des Versuches:	
Erste Messung	130 „
Zweite Messung	120 „
Nach dem Versuche	160 „

Versuch II. Versuchsanordnung dieselbe.

Druck bei normaler Athmung	140 mm
Während des Versuches:	
Erste Messung	125 „
Zweite Messung	120 „
Nach dem Versuche	180 „

Versuch III. Versuchsanordnung dieselbe.

Druck bei normaler Athmung	140 mm
Während des Versuches:	
Erste Messung	125 „
Zweite Messung	115 „
Nach dem Versuche	170 „

Versuch IV. Versuchsanordnung dieselbe.

Druck bei normaler Athmung	140 mm
Während des Versuches:	
Erste Messung	120 „
Zweite Messung	115 „
Nach dem Versuche	160 „

Versuch V. Versuchsanordnung dieselbe.

Druck bei normaler Athmung	145 mm
Während des Versuches:	
Erste Messung	125 „
Zweite Messung	120 „
Nach dem Versuche	170 „

Versuch VI.

Versuchsanordnung.

Um den Effect des Valsalva'schen Versuches für einzelne abgegrenzte Zeitphasen zu studiren und dadurch ein

genaueres Bild von der Wirkung auf den Blutdruck zu bekommen, wurde die Zeit, welche der so lange, wie eben möglich, fortgesetzte Versuch in Anspruch nahm, in gleiche Zeittheile zerlegt, in welchen jedesmal der Blutdruck gemessen wurde. Es wurden 5 Secunden angesetzt für die dem Versuche selbst vorhergehende tiefe Inspiration, weitere 3 Mal fünf Secunden für die forcirte Exspiration bei geschlossener Glottis und die letzten fünf Secunden für die Ausathmung. Nach der Ausathmung wurde sofort der Blutdruck nochmals abgelesen. Um auch gleichzeitig den Einfluss des in Frage stehenden Versuches auf die Pulsfrequenz zu prüfen, wurden in jedem Zeitabschnitte an der freien Hand die Pulse gezählt.

	Tiefe Inspir.	Forcirte Exspiration bei geschl. Glottis.			Exspiration.
Blutdruck.	145	115	120	110	180
Pulszahl.	6	8	10	10	8

Versuch VII. Versuchsanordnung dieselbe.

	Tiefe Inspir.	Forcirte Exspiration bei geschl. Glottis.			Exspiration.
Blutdruck.	145	115	110	100	180
Pulszahl.	7	7	10	10	7

Damit möglichst sicher die einzelnen Zeiträume, ohne unnöthig grosse Aufmerksamkeit auf den die Zeit bestimmenden Apparat verwenden zu müssen, abgegrenzt würden, wurde ein Metronom benutzt und zwar dasselbe so eingestellt, dass es beim fünften Schlage ein Zeichen gab durch Klingen einer Schelle. Ein so abgegrenzter Zeitraum wurde analog den oben erwähnten fünf Secunden verwerthet; er dauerte nicht ganz so lange, wie oben, wesshalb die absolute Pulszahl nicht mit der obigen übereinstimmt.

Versuch VIII.

	Tiefe Inspir.	Forcirte Exspiration bei geschl. Glottis.			Exspiration.
Blutdruck.	150	120	120	115	190
Pulszahl.	4	6	8	8	6

Bevor noch der nach Versuch VIII constatirte hohe Blutdruck wieder zur Norm gekommen war, wurde der Versuch noch einmal ganz unter denselben Bedingungen wiederholt. Es ergab sich Folgendes.

Versuch IX.

	Tiefe Inspir.	Forcirte Exspiration bei geschl. Glottis.			Exspiration.
Blutdruck.	180	140	140	120	195
Pulszahl.	4	5	8	8	6

Die Wirkung des Valsalva'schen Versuches ist, weil er, wenigstens in seinen allgemeinen Resultaten, den Typus für die Athmungsmodi mit comprimirter Luft abgibt, von vielen Seiten untersucht worden.

Waldenburg fand bei seinen sphygmographischen Untersuchungen „ein Ansteigen der Curve, bedingt durch die erhöhte Spannung und die vermehrte Blutfülle in den Arterien". Er sah die Folgen der vermehrten Spannung des Arterienrohrs vorzüglich ausgeprägt, indem die Rückstosselevationen viel weniger, als normal ausgesprochen waren und sich stellenweise kaum von den Elasticitätselevationen unterscheiden liessen, welche selbst beträchtlich an Zahl und Grösse zunahmen und höher gegen den Gipfel der Welle hinaufrückten. Sogar anakrotische Pulsbilder wurden von Waldenburg gewonnen.

Die Pulscurven, welche Schreiber[1]) gewann, stimmen mit den Waldenburg'schen Sphygmogrammen nur insofern überein, als die Basallinie jener Curven sich plötzlich erhebt und bis zu Ende des Versuches auf der einmal erreichten Höhe nahezu constant verbleibt. Von einem Verschwinden der Rückstosselevationen und einer Zunahme der Zahl und Grösse der Elasticitätselevationen ist dagegen nichts zu bemerken. Sommerbrodts Curven, welche in der oben citirten Schrift beigefügt sind, stimmen im Wesentlichen mit denjenigen Schreibers überein.

Worin liegt diese Differenz der Resultate Waldenburgs einerseits, und derjenigen der letztgenannten Forscher andererseits? Ein Ansteigen der Basallinie der Curve haben alle eben genannten Forscher gefunden, was wohl als ein Beweis dafür gelten kann, dass dieses Phänomen unter allen Umständen seine Ursache findet in bestimmten beim Valsalva'schen Versuche stets auftretenden Folgen. Jedoch nöthigt uns auf der andern Seite die Verschiedenheit der Pulsbilder entweder eine Ungleichheit in der Art und Weise des Experimentirens, oder eine Complication von Seiten des jedesmaligen Versuchsobjectes anzunehmen. Welche Pulsbilder sind die richtigen? Haben wir wirklich, wie Waldenburg will, beim in Frage stehenden Versuche eine grössere Anzahl Elasticitätselevationen, die Kriterien eines hohen Blutdrucks, zu erwarten, oder gehören Rückstosselevationen, die Kriterien eines niedrigen Blutdrucks, zu den charakteristischen Eigenschaften der Curven beim Valsalva'schen Versuche. Werfen wir einen Blick auf die oben angeführten Experimente und versuchen, die Ergebnisse derselben zu analysiren, so werden wir im Stande sein, eine Entscheidung zu treffen. Die ersten

---

1) Die Wirkung des veränderten Luftdrucks in den Lungen auf den Blutkreislauf des Menschen. Von Dr. J. Schreiber. Im Archiv für experimentelle Pathologie und Pharmakologie. Zwölfter Band, pag. 120.

fünf Versuche sind nur dazu geeignet, zu zeigen, dass beim Valsalva'schen Experimente im Grossen und Ganzen der Blutdruck herabgesetzt wird, während er nach demselben über die frühere Norm steigt. Wenn wir uns auf die Momente beziehen, welche schon Eingangs dieser Abhandlung als unbedingt zu berücksichtigende angeführt wurden, so wird uns das Sinken des Blutdruckes und das nach dem Versuche auftretende Steigen desselben wohl verständlich sein. Die am Ende der dem Versuche selbst vorhergehenden Inspiration bis zu ihrem Maximum ausgedehnte und mit Luft gefüllte Lunge wird, sobald eine Exspirationsanstrengung bei geschlossener Glottis vorgenommen wird, sammt ihrem Inhalte mit der ganzen Kraft der Exspirationsmuskulatur zusammengepresst. Durch diese Compression wird die innerhalb der Lunge befindliche Luft auf einen kleineren Raum gedrängt werden müssen, so dass die Lunge jetzt nicht mehr auf ihr Maximum ausgedehnt ist. Zwei Momente sind es auf diese Weise, welche beim Valsalva'schen Versuche das Bild der bei der Einathmung comprimirter Luft zu beobachtenden Erfolge schärfer erscheinen lassen müssen. Zunächst steht die Lungenluft, welche bei Inspiration comprimirter Luft erst im Laufe der Einathmung ihren höchsten Compressionsgrad erreicht und desshalb auch nur allmählich ihre Wirkung entfaltet, vom Anfange des Versuches bis zu seinem Ende unter dem Maximum der Compression, die an und für sich jedenfalls um ein Bedeutendes grösser ist, wie die Compression, welche bei Experimenten mit comprimirter Luft gewöhnlich angewandt zu werden pflegt; die Wirkungen, welche auf Grund der Luftverdichtung zu erwarten sind, müssen desshalb um so prägnanter sein. Während weiter auf der Höhe der Inspiration comprimirter Luft die Lunge auf ihr höchstes Maximum ausgedehnt ist und desshalb auch mit dem grössten Werthe ihrer elastischen Kraft sich zu contrahiren strebt, steigt bei der Luftcompression während des Valsalva'schen Versuches dieser Werth nicht bis zu seinem

Maximum, weil eben die Lunge nicht den höchsten Grad der Ausdehnung besitzt. Der jedesmalige Werth der elastischen Contractionskraft der Lunge muss aber von dem Drucke, welchen die in der Lunge befindliche comprimirte Luft auf die Innenwände des Thorax und seinen ausserhalb der Lunge liegenden Inhalt ausübt, subtrahirt werden, so dass, falls, wie beim Valsalva'schen Versuche, dieser Werth ein relativ geringer ist, ein um so grösserer Effect von dem Drucke der comprimirten Luft zu erwarten sein muss. Dieser Druck ist nun ein allseitiger, der den ausserhalb der Lunge herrschenden negativen Druck verkürzt und desshalb als ersten Effect eine Erschwerung des Venenblutzuflusses zum rechten Herzen erkennen lassen wird.

Wenngleich auch durch den erhöhten Druck auf der innern Oberfläche der Lunge, wie wir schon bei Erwähnung der Experimente Lichtheims[1]) erörtert haben, eine Störung in der Circulation der Lunge selbst kaum zu Stande kommen wird, oder besser gesagt, wenngleich trotz etwaiger Compression der Lungengefässe, resp. Verringerung ihres Lumens der rechte Ventrikel das Blutquantum, das ihm während des Versuches überhaupt zugeführt wird, mit normaler Geschwindigkeit durchzutreiben im Stande ist, so wird doch jene Compression der Lungengefässe die Folge haben, dass im Anfange des Versuches, wo die Lunge noch einen normalen und wegen der vorhergegangenen tiefen Inspiration nicht geringen Blutgehalt aufweist, aus den Lungenvenen Blut nach dem linken Atrium hin ausgepresst wird, so dass im Anfange des Versuches der linke Ventrikel einige ganz ergiebige Contractionen ausführen kann. Rechnen wir hierzu nun noch die Thatsache — die mir freilich eine sehr untergeordnete Rolle zu spielen scheint —, dass durch die Verringerung der Saugkraft im Thorax auch auf die Oberfläche des Herzens und der das Blut aus dem Thorax abführenden Gefässe ein ge-

1) a. a. O.

ringerer Zug ausgeübt wird, und desshalb das Herz in seiner Arbeit weniger beeinträchtigt werden mag, so haben wir Alles, was uns, wenigstens im Anfange des Valsalva'schen Versuches, eine Steigerung des Blutdrucks erwarten lässt, falls nur mechanische Verhältnisse zu berücksichtigen seien.

Waldenburg, der ja beim Valsalva'schen Versuche eine Steigerung des Blutdrucks annimmt, legt diesem letzterwähnten Factor, der Steigerung und Erleichterung der Herzarbeit, ein Hauptgewicht bei, indem er aus ihr trotz der im Laufe des Versuches eintretenden geringeren Blutzufuhr zum linken Herzen die Ursache für das von ihm gefundene Verhalten des Blutdrucks herleitet. Er sagt bei der Analyse seiner Resultate nach Inspiration comprimirter Luft: „Durch die Inspiration comprimirter Luft wird die Arbeit des Herzens erleichtert, dadurch die Herzkraft für die Systole gesteigert und der Druck im Aortensystem erhöht."

Ich weiss nicht, ob der Verminderung der Saugkraft im Thorax, die unter dem Einflusse comprimirter Luft zu Stande kommt, eine derart weitgehender Effect in Bezug auf die Arbeit des Herzens beigemessen werden darf. Ich habe schon an einer andern Stelle hervorgehoben, dass, so plausibel ein Einfluss der verminderten Saugkraft im Thorax auf die demselben das Blut zuführenden Venen, welche auf jenen negativen Druck angewiesen sind, erscheint, so wenig ausschlagend die Wirkung auf das Herz selbst und die durch den hohen Blutdruck unter starker Spannung stehenden Gefässwandungen sein muss. Ich kann nicht zugeben, dass das Herz, welches allein mit seinem linken Ventrikel bei jeder Systole eine Arbeitsleistung von etwa 0,352 Kilogrammmetern aufweisen kann, durch die innerhalb des Thorax normaler Weise auf dasselbe ausgeübte Saugkraft so sehr an seiner Arbeit behindert werden kann, dass nun mit einem Male, wo diese Saugkraft für einige Zeit herabgesetzt oder ganz aufgehoben wird, das Herz in seiner Arbeit in einer Weise gefördert werden soll, welche den von Waldenburg gefundenen erhöhten Blutdruck im Aortensystem zur Folge hat.

Wie gross auch immer der Effect sein mag, den wir nach dieser eben erwähnten Richtung hin der comprimirten Luft zuschreiben können, soviel ist festzuhalten, dass, falls nur mechanische Einflüsse im Spiele seien, im Anfange des Versuches, weil eben das Blut aus den Lungenvenen nach dem linken Herzen hin ausgepresst und desshalb demselben wenigstens für die Zeitdauer einiger Contractionen ein Plus von Blut zugeführt wird, endlich die Arbeit des Herzens auch in geringem Maasse gefördert sein mag, ein Steigen des Blutdrucks zu erwarten sein müsse. Im weiteren Verlaufe des Versuches wird freilich, auch unter dem alleinigen Obwalten mechanischer Einflüsse, ein Sinken des Blutdrucks zu Stande kommen müssen. Denn, sobald der erschwerte Blutzufluss zum rechten Herzen sich geltend macht, wird eine unter dem Normalen liegende Speisung des linken Herzens mit Blut und eine Stauung im venösen Systeme die unbedingte Folge sein. Beides muss aber ein Sinken des Blutdrucks zur Folge haben, das Erstere, weil der linke Ventrikel nunmehr nur weniger Blut, wie normal, in das Arteriengebiet einpumpen kann, das Letztere, weil, wie Zuntz und Lichtheim nachgewiesen haben, bei venöser Stauung der Druck im zugehörigen Arteriensystem sinkt.

Während Waldenburg, einen so gewichtigen Nachdruck auf die Erleichterung der Herzarbeit unter dem Einflusse comprimirter Luft legend, ohne Berücksichtigung der Resultate von Zuntz und Lichtheim glaubt, dass durch die vermehrte Herzarbeit trotz der geringeren Blutmenge, die das linke Herz bei jeder Systole fortschafft, doch eine Steigerung des Blutdrucks während des ganzen Verlaufes des Versuches zu Stande komme, welche er auch in der That aus seinen Sphygmogrammen schliesst, kommen wir bei der Analyse aller der beim Valsalva'schen Versuche in Frage kommenden mechanischen Verhältnisse zu dem Schlusse, dass zunächst eine Steigerung des Druckes und dann ein Sinken erwartet werden müsse.

Diese Erwartung bestätigt sich nun, wenn wir einen Blick auf die Resultate unserer Versuche werfen, keineswegs. Wir sehen, wie bei allen Experimenten der Blutdruck schon gleich in den ersten fünf Secunden um ein Bedeutendes sinkt und im Verlaufe des Versuches nur noch um geringe Werthe abnimmt, so dass er also schon gleich im Anfange nahezu sein Minimum erreicht. Zur Erklärung dieser Thatsache reicht die alleinige Berücksichtigung der beim Valsalva'schen Versuche in Betracht kommenden mechanischen Einflüsse nicht aus. Wir müssen nach solchen suchen, welche auf nervösem Wege zu Stande kommen. Der Blutdruck ist abhängig:

1. Von der Blutmenge, welche bei jeder Systole ins Arteriensystem befördert wird;

2. von dem Modus der Herzcontractionen, bei welchem die Kraft, mit der sich der Ventrikel contrahirt, und die Frequenz, mit welcher die Contractionen auf einander folgen, in Betracht kommen;

3. von dem Lumen und dem Tonus der Arterien.

Wollen wir uns also das Sinken des Blutdrucks im Anfange des Valsalva'schen Versuches erklären, so müssen wir uns an diese drei Momente halten, von deren Variation der Blutdruck abhängig sein muss. Dass wir gleich im Anfange unseres Versuches von den beiden ersten Momenten gerade ein Steigen des Blutdrucks erwarten müssen, ist schon eben hervorgehoben, indem darauf hingewiesen wurde, dass der linke Ventrikel bei seinen ersten Contractionen mehr Blut, wie normal, ins Arteriensystem befördert und er an Kraft sicherlich gegen die Norm nicht zurücksteht. Der Grund für das Sinken des Blutdrucks schon gleich am Anfange des Versuches muss desshalb wohl in der Veränderung des Lumens und des Tonus der Arterien zu suchen sein, welche in einem solchen Maasse zu Stande kommt, dass dadurch die beiden übrigen Momente übercompensirt werden.

Dass in der That dieses dritte Moment die Schuld an

dem Sinken des Blutdrucks gleich im Anfange des Versuches trägt, geht aus den schon oben erörterten Versuchen Herings hervor, die neuerdings von Sommerbrodt bestätigt worden sind. Der letztere Forscher fand, dass „durch jede intrabronchiale Drucksteigerung beim Menschen die sensiblen Lungennerven gereizt werden, woraus Reflexwirkung auf die vasomotorischen Nerven im depressorischen Sinne und eben desshalb eine Verminderung des Tonus der arteriellen Gefässe, Erweiterung der Blutbahn und Sinken des Blutdrucks resultirt".

Das Abfallen des Blutdruckes zu Anfange des Valsalva'schen Versuches kommt also auf rein nervösem Wege zu Stande den mechanischen Einwirkungen zum Trotze, welche den Blutdruck steigern müssten. Im weitern Verlaufe kommt natürlich auch noch eine venöse Stauung hinzu, welche ebenso, wie die aus ihr resultirende geringe Füllung des arteriellen Systems, bei der Herabsetzung des Blutdrucks mit den Einflüssen von Seiten des Nervensystems concurrirt.

Wollen wir festhalten, dass das Zustandekommen des verringerten Blutdruckes zu Anfang des Versuches nur auf nervösem Wege möglich ist, so mag der charakteristische Befund der von allen Forschern gewonnenen Sphygmogramme auf den ersten Blick befremden. Als einen solchen charakteristischen Befund glaube ich das sofortige Ansteigen der Basallinie gleich zu Anfang des Versuches und das Verharren derselben auf ihrer Höhe während des Experimentes ansehen zu dürfen. Dieses Ansteigen, das man nicht in allen Fällen als Kriterium für Erhöhung des Blutdrucks ansehen darf, kommt hier zu Stande durch eine stärkere Füllung des Gefässrohres, einen Pulsus plenus. Könnte hier dieser Pulsus plenus nicht durch Rückstauung bewirkt, also diese doch schon im Anfange des Versuches vorhanden sein und den Abfall des Blutdrucks veranlassen, der also dann nicht oder wenigstens nicht allein auf nervösem Wege zu Stande käme? Zunächst ist es doch unwahrscheinlich, dass im Anfange des

Versuches schon gleich eine solche Rückstauung, die doch, wie ich glaube, zu ihrem Zustandekommen einige Zeit beansprucht, entstände, dass daraus ein Pulsus plenus resultiren könnte, sodann liegt für diesen eine andere Erklärung ja sehr nahe. Wollen wir uns nur erinnern, dass die ersten Systolen während des Versuches mehr Blut ins arterielle System zu werfen im Stande sind, weil dem linken Vorhofe aus den Lungengefässen durch den plötzlich erhöhten Druck der Luft in der Lunge das Blut zugepresst wird, so kann uns das Auftreten des Pulsus plenus nicht befremden. Dass dieser volle Puls nicht zugleich auch ein harter ist, findet eben in der besprochenen Reflexwirkung seinen Grund, in Folge deren die Blutgefässe, in welche das Plus von Blut am Anfange des Versuches gelangt, ihren Tonus verloren haben. Der volle, aber weiche Puls im Anfange des Versuches ist also die Folge der stärkeren Füllung des linken Herzens, die ihrerseits wieder durch das Auspressen der Lungengefässe nach dem linken Atrium hin zu Stande kommt, und der Aufhebung des Tonus der Arterien durch Reflexwirkung, die von der Lunge ausgeht. Im weiteren Verlaufe des Versuches, wo das erste Moment ausbleibt, kommt als stellvertretendes die Rückstauung des venösen Blutes in Betracht.

Zurückblickend auf das soeben Ausgeführte können wir mit Rücksicht auf das Verhalten des Blutdrucks beim Valsalva'schen Versuche sagen: Während des Versuches sinkt der Blutdruck um ein Bedeutendes. Wenn auch das niedrigste Maass desselben erst gegen Ende des Versuches hervortritt, so weicht doch der Druck am Anfange desselben nicht so sehr vom Minimum ab, dass er auf Grund der Rückstauung des venösen Blutes, eines Vorganges, der erst gegen Ende des Versuches in seiner ganzen Wirkung auf den Blutdruck in Kraft treten kann, erklärt werden könne, vielmehr muss der am Anfange des Valsalva'schen Versuches schon sehr niedrige Blut-

druck durch einen Reflexakt zu Stande kommen, wie ihn Hering bei Inspiration comprimirter Luft an Thieren beobachten konnte, und Sommerbrodt durch seine Untersuchungen an Menschen bestätigt hat. Im weiteren Verlaufe des Versuches kommt zu diesem den Blutdruck herabsetzenden Reflexakte ein weiteres nach derselben Richtung hin wirkendes Moment, die Rückstauung des venösen Blutes, hinzu, so dass ein Minimum des Blutdrucks resultiren muss.

Eine weitere Erscheinung, die nicht unberücksichtigt bleiben darf, tritt uns in der Beschleunigung der Pulse während des Valsalva'schen Versuches entgegen. Ich muss im Voraus bemerken, dass dieses Phaenomen nicht immer in wünschenswerth prägnanter Weise zur Beobachtung gelangt und desshalb bei verschiedenen Versuchen, wenn auch nicht in seinem allgemeinen Charakter, nicht selten Differenzen erkennen lässt, was nicht befremden kann, wenn man nur berücksichtigt, von welch' zahlreichen Einflüssen die Frequenz der Herzcontractionen beherrscht wird; es bedarf desshalb nur eines äusserst geringen Factors, der oft, weil zu unbedeutend, gar nicht zu bemerken ist, um das gewöhnliche prägnante Resultat zu trüben. In den hier beigefügten Versuchen, die ausgewählt sind, erkennt man nun die Zunahme der Frequenz der Herzschläge ganz offenbar. Dieselbe wurde in der Weise bestimmt, dass, während ein Zweiter in den oben angegebenen Zeiträumen an der linken Hand des Versuchsobjectes den Blutdruck bestimmte, ein Dritter in denselben Zeitabschnitten an der rechten Hand die Pulse zählte. Wir sehen aus Versuch VI, dass der Puls während der tiefen Inspiration die Frequenz von 6 Schlägen zeigt, im ersten Theile des Versuches erreichen die Herzcontractionen die Zahl 8, im zweiten und dritten 10, um dann während der dem Versuche folgenden Exspiration wieder auf die geringere Frequenz 8 zurückzukehren. In Versuch VII werden die

eben angeführten Zahlen vertreten von den Werthen 7—7—10—10—7. Gleiche Verhältnisse finden wir bei den übrigen Versuchen wieder. Hieraus ergiebt sich, dass mit dem Sinken des Blutdrucks beim Valsalva'schen Versuche auch zugleich eine Beschleunigung der Herzaktion in die Erscheinung tritt, welche aber nicht gleichen Schritt hält mit dem Abfallen des Blutdrucks. Denn während der Blutdruck schon gleich im ersten Drittel der Zeitdauer des Versuches nahe seinem Minimum ist, hat die Pulsfrequenz nur relativ wenig zugenommen und erreicht erst im zweiten Drittel ihre Höhe, die sie auch während des letzten Drittels behält. In der für die dem Versuche folgende Exspiration bestimmten Zeitphase sinkt die Frequenz wieder auf dieselbe herab, die während des ersten Drittels des Versuches selbst zu beobachten war. Sommerbrodt schliesst aus seinen Curven, dass der niedrige Blutdruck den Versuch selbst noch während einiger Pulse überdauert, um erst dann zu steigen, was uns zu constatiren nicht möglich war, weil eben der Blutdruck nur in bestimmten, genügend lange dauernden Zeiträumen und nicht bei jedem einzelnen Pulse gemessen werden konnte. Ziehen wir das Sommerbrodt'sche Resultat herbei und stellen uns vor, dass der niedrige Blutdruck etwa noch 2—3 Theilstriche der letzten Zeitphase dauert, so finden wir so ziemlich dieselben Verhältnisse auch in dieser wieder, wie in dem ersten Drittel der Zeitdauer des Versuches selbst, d. h. während der Blutdruck, freilich nur kurze Zeit, noch unter der Norm ist, nähert sich die Pulsfrequenz schon wieder dem Normalen.

Unser Befund hinsichtlich der Pulsfrequenz muss lauten: Während des Valsalva'schen Versuches steigt die Pulsfrequenz, doch nicht so, dass dieses Steigen gleichen Schritt geht mit dem Abfallen des Blutdrucks, vielmehr hat der Blutdruck schon annähernd sein Minimum erreicht, während die Pulsfrequenz erst relativ wenig von der Norm abweicht, und doch ist sie schon auf dem Wege, zum Norma-

len zurückzukehren, während der Blutdruck, wenn auch nur noch kurze Zeit, unter der Norm bleibt.

Dieser Befund entspricht bis ins Genaueste den Resultaten, welche Hering an Hunden, und Sommerbrodt auch in neuester Zeit am Menschen beobachten konnte.

Wir kommen endlich zur Betrachtung der Erscheinungen, welche der Valsalva'sche Versuch hinterlässt, und die also noch zu beobachten sind, nachdem schon bei geöffneter Glottis ausgeathmet und die ruhige Athmung wieder aufgenommen ist.

In den Versuchen I—VII ist der Blutdruck nur einmal am Schlusse der dem Versuche selbst folgenden Exspiration gemessen; er zeigt in allen Fällen eine bedeutende Steigerung gegen die Norm. Dass diese Steigerung nicht in allen Fällen dieselbe Höhe erreicht, mag eines Theils darin liegen, dass in den ersten fünf Versuchen die Zeit des Versuches nicht gemessen war, wesshalb derselbe verschieden lange Zeit dauern konnte; ausserdem ist die Kraft, mit welcher die Exspirationsanstrengung bei geschlossener Glottis ausgeführt wird, auch nicht immer dieselbe, und endlich kommt natürlich auch der normale Blutdruck in Betracht, der an verschiedenen Tagen auch verschieden ist.

Doch sind die Resultate der Versuche VI und VII, bei welchen wenigstens die Zeit bestimmt und genau innegehalten werden konnte, durchaus übereinstimmend, soweit dies überhaupt bei unsern Experimenten zu erwarten ist.

Bei allen Versuchen finden wir, wie gesagt, ein bedeutendes Steigen des Blutdrucks nach dem Experimente selbst, so zwar, dass der Druck nicht auf die normale Höhe zurückkehrt, sondern vielmehr diese jetzt um ungefähr denselben Werth übersteigt, um welchen er vorher während des Versuches unter ihr geblieben war. Eine plausible Erklärung für dieses Verhalten des Blutdrucks zu finden, ist nicht schwer, wenn man bedenkt, dass das vorher im Venensysteme durch den Druck der comprimirten Luft zurückgehaltene

Blutquantum jetzt, wo dieser Druck aufhört, mit Macht zum rechten Ventrikel strömt und, den kleinen Kreislauf, der während des Versuches nur wenig Blut fasste, überfluthend, dem linken Herzen zugeführt wird. Der linke Ventrikel wirft jetzt grössere Blutmengen bei den einzelnen Systolen ins Arteriensystem, so dass in demselben wegen der stärkeren Anfüllung der Druck steigen muss, um so mehr, wenn man bedenkt, dass jetzt, wo der Druck auf der innern Oberfläche der Lunge nicht mehr vorhanden ist, der oft berührte nervöse Einfluss, der von der Lunge aus zu Stande kommt und einen verminderten Tonus der Blutgefässe zur Folge hat, allmählich aufhören muss. Hierzu kommt, dass mit aller Wahrscheinlichkeit ein aktiver Einfluss auf die Blutgefässe in Kraft tritt, der eine Steigerung des Blutdrucks zur Folge haben muss. Ich brauche nur, um diese Wahrscheinlichkeit zu begründen, darauf aufmerksam zu machen, dass während des Versuches, der, so lange es möglich war, andauern musste, eine nur ungenügende Ventilation des Blutes zu Stande kam, also der Organismus auf dem Wege zur Erstickung war. Wie ich nun schon oben hervorhob, hat Zuntz durch Experimente an Thieren festgestellt, dass die Erstickung eine Erhöhung des Blutdrucks zur Folge hat, indem bei Erstickung eine Contraction der Darmgefässe fast bis zum Verschwinden ihres Lumens eintritt. Ich kann mir desshalb wohl vorstellen, dass, sobald nach Beendigung des Versuches der depressorische Einfluss auf die Gefässcentren, der ja Folge des erhöhten Luftdruckes innerhalb der Lunge ist, nachlässt, nicht allein ein Zurückkehren des vor dem Versuche bestehenden Gefässtonuseintritt, sondern auch eine active Contraction der Arterien, welche die Folge der jetzt in Kraft tretenden dyspnoischen Reizung ist und ihrerseits als Resultat eine Erhöhung des Blutdrucks aufweisen kann.

Bei Versuch VIII konnten wir diese Nachwirkung des Valsalva'schen Versuches noch etwa eine Minute lang beobachten; als dann der Druck allmählich anfing, zu sin-

ken, liessen wir sofort den IX. Versuch folgen, also zu einer Zeit, in der die Nachwirkung noch nicht verschwunden war. Wir nehmen hier die interessante Erscheinung wahr, dass der Blutdruck auch hier stark abfällt, und zwar zunächst in demselben Verhältnisse zu dem vor dem Versuche vorhandenen Druckwerthe, wie dies auch bei den vorhergehenden Versuchen existirt; gegen Ende des Versuches erreicht er dann beinahe das absolute mittlere Minimum der vorhergehenden Versuche, um nach demselben das höchste Maass zu erreichen, auf dem er sich, wie angestellte Messungen ergaben, noch einige Minuten hielt und dann allmählich wieder zur Norm zurückkehrte.

Wir sind desshalb berechtigt, zu sagen. Nach dem Valsalva'schen Versuche steigt der Blutdruck über die Norm, und zwar fast ebenso viel, wie er während des Versuches unter dieselbe gefallen war. Der hohe Blutdruck bleibt eine Zeitlang (wenige Minuten) noch über der Norm und kehrt erst allmählich zu derselben zurück.

Sommerbrodt fand ausser dem Steigen des Blutdrucks in seinen Curven noch Störungen des Rhythmus und Pulsverlangsamung, was uns zu constatiren nicht möglich war, weil zur Beobachtung dergleichen geringer Abweichungen von der Norm das Fühlen des Pulses nicht ausreichend sicher ist, uns aber bezüglich des Verhaltens des Pulses nur diese Art des Untersuchens zu Gebote stand.

Inspiration comprimirter Luft.

Auf die Resultate, die wir bei der Einathmung comprimirter Luft zu erwarten haben, sind wir mit Bezug auf die Effecte beim Valsalva'schen Versuche vorbereitet. Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass der Valsalva'sche Versuch in seinem Endeffecte der Inspiration comprimirter Luft ähnlich sein müsse, wenn auch die Resultate bei dem

ersteren, wie wir gesehen haben, in äusserst prägnanter Weise zu Tage getreten, was in den folgenden Versuchen vielleicht nicht in dem Umfange der Fall sein mag.

Bei Ausführung der Experimente, welche die Prüfung der Wirkung der Inhalation comprimirter Luft zum Zwecke haben, ist es von Belang, dass diese Einathmung möglichst tief und lange anhaltend ausgeführt wird. Es kommt nämlich darauf an, ein Druckgleichgewicht zwischen der Luft im Apparate und der Lungenluft herzustellen, was erst im Verlaufe der Inspiration möglich wird. Im Anfange der Inspiration, wo die Erweiterung des Thorax, welche unter dem Einfluss der comprimirten Luft rascher von Statten geht, eine Luftverdünnung in der Lunge zu Wege bringt, kann der Effect der comprimirten Luft nicht wahrgenommen werden, da erst durch allmähliches Nachströmen der Luft des Apparates Druckgleichgewicht sich etablirt. Erst wenn auf der Höhe der Inspiration bei genügender Communication der Lungenluft und derjenigen des Apparates beide unter demselben Drucke sich befinden, sind die zu beobachtenden Erscheinungen als Folgen der Wirkung comprimirter Luft zu betrachten. In diesem Umstande mag die Erklärung liegen dafür, dass Zuntz bei Thieren, die er comprimirte Luft athmen liess, bei den ersten Athemzügen ein geringes Ansteigen des Blutdrucks fand, während dieser bei den folgenden Athmungen unter die Norm fiel. Der Druck der Luft im Apparate hatte sich eben der Lungenluft noch nicht vollkommen mitgetheilt, so dass bei den ersten Athemzügen die den Blutdruck fördernde Wirkung, die wir bei jeder Inspiration und zumal bei solcher, die unter dem Einflusse comprimirter Luft leichter von Statten geht, wahrnehmen, das Uebergewicht behauptete, bis sich der höhere Druck in der Lunge definitiv hergestellt hatte. Dieselbe Erklärung findet die (geringe) Blutdrucksteigerung, die am Anfange der Inspiration comprimirter Luft nicht selten an einzelnen Pulsbildern beobachtet worden ist, aber, sobald die Inspiration auf der Höhe angelangt ist, einer Druckerniedrigung Platz macht.

Da es uns bei unsern Versuchen nur darauf ankam, die Wirkung der comprimirten Luft zu untersuchen, ohne uns um die Nebenwirkungen, welche einer ungenügenden Druckausgleichung zugeschrieben werden müssen, zu kümmern, so haben wir die Versuchsanordnung folgender Maassen getroffen:

Nachdem der Blutdruck bei normaler Athmung festgegestellt war, wurde tief und mit offenem Munde aus comprimirter Luft inspirirt und die Inspiration möglichst lange angehalten. Nachdem die Höhe der Inspiration schon erreicht und einige Zeit angehalten war, wurde der Hahn des Apparates erst geschlossen, um eine möglichst vollkommene Druckausgleichung zu Wege zu bringen. Gleich am Anfange der Inspirationshöhe wurde der Blutdruck gemessen und wenn möglich gleich darauf diese Messung wiederholt, sodann wurde exspirirt. Während der beiden Messungen verharrte der Thorax des Versuchsobjectes in tiefster Inspirationsstellung. Nach der Exspiration wurde der Blutdruck wieder gemessen.

Versuch X. Eine tiefe Inspiration comprimirter Luft.

(Grad der Compression = 19 mm Quecksilber = $^1/_{40}$ Atmosphärendruck.)

Blutdruck bei normaler Athmung	140 mm
Auf der Höhe der Inspiration.	125 „
Nach der Exspiration.	135 „
Einige Zeit später Schwankung zwischen	135 und 140 „

Versuch XI. Versuchsanordnung dieselbe, wie vorher.

Blutdruck bei normaler Athmung	140 mm
Auf der Höhe der Inspiration:	
Erste Messung	130 „
Zweite Messung.	120 „
Während der Exspiration	140 „
Nach derselben	135 „
Dann Steigen auf	140 „

Wir sehen aus diesen Versuchen, dass auf der Höhe

der Inspiration der Blutdruck um etwa 20 mm fällt. In Versuch XI, wo auf der Höhe der Inspiration zwei Messungen vorgenommen wurden, fällt der Blutdruck noch um 10 mm in dem Zeitraum, während dessen die Inspiration angehalten wird. Es ist dies ein Beleg dafür, dass, je länger und nachhaltiger die comprimirte Luft auf die innere Oberfläche der Lunge wirkt, desto mehr ein Sinken des Blutdrucks im arteriellen Systeme zu Stande kommt. Die Wirkung dauert, wenn auch nicht in vollem Maasse, auch noch nach der Exspiration fort, die in die Atmosphäre hinein geschah. Bei Versuch X steigt der Blutdruck nach der Exspiration zwar wieder auf 135, kehrt aber erst später allmählich auf 140 zurück. In Versuch XI ist während der Exspiration der Blutdruck 140, um nachher bei freier Athmung wieder auf 135 zurückzugehen, ein Resultat, das uns auf den ersten Blick befremden muss. Es ist hierbei jedoch nicht aus dem Auge zu lassen, dass, wie auch Zuntz hervorgehoben hat, bei einer forcirten Exspiration ein Druck auf die Aorta abdominalis ausgeübt werden kann, wodurch eine Stauung oberhalb der Compressionsstelle und desshalb eine momentane Druckerhöhung in den Gefässen der obern Körperhälfte stattfindet.

Wie wir beim Valsalva'schen Versuche das Sinken des Blutdruckes aus mechanischen und physiologischen Einwirkungen der verdichteten Luft auf den Organismus erklären mussten, so liegt es a priori nahe, dieselben beiden Momente auch bei Inspiration comprimirter Luft in Geltung treten zu lassen. Bezüglich der letzteren Einwirkung mag der Valsalva'sche Versuch durchaus mit der comprimirten Luft im Einklange stehen. Das unbedingte Uebereinstimmen bezüglich der mechanischen Momente dürfte nicht ein so unumgängliches Postulat sein. Eingangs dieser Abhandlung haben wir, im Anschlusse an die Experimente von Zuntz und Waldenburg, auf die Ansichten dieser beiden Forscher hingewiesen, von denen besonders der letztere den mechanischen

Einflüssen das Wort redet; wir haben uns ihnen in soweit angeschlossen, als von der Inspiration der comprimirten Luft eine Herabsetzung des negativen Druckes, d. h. gegenüber demjenigen während der normalen tiefen Inspiration, im Thorax ausserhalb der Lungen theoretisch zu erwarten war. Ob aber diese theoretische Vorstellung, nach der man gewöhnlich eine im Verhältnisse zum Grade der Luftcompression stattfindende Herabsetzung des negativen Druckes im Thorax anzunehmen geneigt ist, sich in Wirklichkeit immer bestätigt, glauben wir Bedenken tragen zu müssen. Wir haben nämlich bei Gelegenheit der Punktion eines Empyems Messungen des Druckes im Pleuraraume angestellt und den Druck bei gewöhnlicher tiefer Inspiration und bei der Inspiration comprimirter Luft beobachtet; hierbei haben wir durchaus nicht so prägnante Resultate bekommen, wie wir sie auf Grund theoretischer Calculationen erwarteten, während beim Valsalvaschen Versuche allerdings der Druck sich ganz entsprechend den oben gegebenen Auseinandersetzungen verhielt. Wir wollen diesen Experimenten vorläufig keine Bedeutung beilegen, weil sie vielleicht an Ungenauigkeit leiden, — man braucht ja nur zu bedenken, dass sie an einer Lunge, die vorher durch Exsudat comprimirt war, vorgenommen sind, — und weil sie noch nicht zahlreich genug sind, um aus ihnen bestimmte Schlüsse zu ziehen. Wir werden Gelegenheit nehmen, am geeigneten Orte und zu passender Zeit auf dieselben genauer zurückzukommen, und haben hier nur auf sie hingewiesen, um anzudeuten, dass die Druckverhältnisse im Pleuraraume bei bestimmten Athmungsmodificationen auch besonderen Complicationen unterliegen können, und unsere jetzt herrschenden Vorstellungen über jene Druckverhältnisse möglicher Weise einer Berichtigung bedürfen. Auf diese Art würde eventuell die physiologische Einwirkung der comprimirten Luft bei der aus der Anwendung derselben resultirenden Blutdruckerniedrigung noch höhere Bedeutung gewinnen, als wir ihr im Gegensatz zu Waldenburg schon vindiciren

müssen, ohne dass dabei aber der mechanische Einfluss aus dem Spiele bleiben dürfte.

Um die Wirkung eventuell zu verstärken, wurde jetzt zunächst einmal comprimirte Luft inspirirt und in die Atmosphäre exspirirt, sodann bei der zweiten Inspiration comprimirter Luft die Messung vorgenommen.

Versuch XII. Zwei Inspirationen comprimirter Luft. (Grad der Compression = 19 mm Quecksilber.)

Druck bei normaler Athmung	140 mm
Auf der Höhe der zweiten Inspiration:	
Erste Messung	120 „
Zweite Messung	120 „
Nach der Exspiration	120 „
Etwa 1 Minute später	120 „
„ 1½ „ „	125 „
„ 2 „ „	130 „
„ 2½ „ „	140 „

Wir finden, dass bei diesem Versuche die Nachwirkung der Inhalation comprimirter Luft deutlicher und nachhaltiger hervortritt.

Diese Nachwirkung wird zum grössten Theile darauf beruhen, dass der physiologische Factor, der zur Erklärung des niedrigen Blutdrucks während des Versuches selbst neben der mechanischen Einwirkung angenommen werden muss, diesen auch noch überdauert; jener Nervenreiz klingt gleichsam noch fort, nachdem das ihn ins Leben rufende ursächliche Moment schon geschwunden ist.

Ob nach der Inspiration comprimirter Luft während der auf dieselbe folgenden Exspiration in die Atmospäre die Lungenluft auch noch verdichtet bleibt, scheint mir ganz von äussern Umständen abzuhangen. Hat das Versuchsobject die Kraft und Uebung, recht tief zu inspiriren, so nimmt es, wie ich mit Waldenburg glaube, eine grössere Luftmenge in seine Lungen auf, als dem Grade der Compression und dem

Volumen der Lungen bei gewöhnlicher Athmung entspricht. Wird nun nach einer solchen Inspiration, durch welche nicht nur ein gegen die Norm schwereres, sondern auch grösseres Luftquantum den Lungen zugeführt wurde, rasch und plötzlich exspirirt, so muss diese in ihrem Volumen vermehrte Lungenluft ein gegen sonst nicht weiter gewordenes Ausflussrohr, Bronchien und Trachea, passiren. Soll also dieselbe Luftmenge, welche inspirirt wurde, durch die Exspiration wieder ausgetrieben werden, so muss für die letztere ein längerer Zeitraum in Anspruch genommen werden. Wird daher — und dies geschieht meistens nach einer tiefen und lange angehaltenen Inspiration — sehr rasch exspirirt, so muss ein Plus Luft in der Lunge zurückbleiben, das, da der Thorax, trotz dieses Mehr an Luft, in Exspirationsstellung steht, comprimirt sein muss. Wenn wir desshalb — vorausgesetzt, dass recht tief inspirirt war und rasch exspirirt wird —, während der dem Versuche sofort folgenden Exspiration noch comprimirte Luft in den Lungen vermuthen dürfen, und während dieser kurzen Zeit also auch das mechanische Moment noch im Spiele ist, so bleibt für die Erklärung des niedrigen Blutdrucks, der ja mehr, wie 1 Minute, noch nachdauert, im weiteren Verlaufe, wo wieder ruhig geathmet wird, und sicherlich Druckgleichgewicht zwischen Lunge und Atmosphäre hergestellt ist, doch nichts weiter, als allein der oben berührte physiologische Factor übrig. Dass in der That unter dem Einflusse comprimirter Luft allein auf nervösem Wege, ohne Mitwirken mechanischer Einflüsse, ein Sinken des Blutdrucks zu Stande komme, haben wir bereits beim Valsalvaschen Versuche ausführlich erörtert und hat Sommerbrodt in seiner schon oben citirten Arbeit in wirklich geistreicher Weise dargethan. Er konnte an seinen Sphygmogrammen beobachten, dass durch schwächere intrabronchiale Drucksteigerungen, wie sie z. B. durch beschleunigt vertieftes Athmen, Singen, lautes Reden hervorgebracht werden, schon eine Reflexwirkung auf die Gefässnerven zu Stande kommt und

desshalb der Blutdruck sinkt, ohne dass dabei schon von einer Rückstauung des venösen Blutes die Rede sein kann. Endlich ist hier die Möglichkeit nicht aus dem Auge zu lassen, dass durch länger fortgesetzte Athmungen comprimirter Luft, — und dies kommt besonders bei den folgenden Experimenten in Betracht —, die Ventilation des Blutes eine bessere werden muss, wodurch, wie wir aus der Physiologie wissen, eine Druckherabsetzung zu Stande kommt.

Zur genaueren Prüfung der Nachwirkung des Gebrauches der comprimirten Luft wurden 5 Athemzüge aus verdichteter Luft gemacht und dann nach der letzten 5. Exspiration, der also die letzte Inspiration comprimirter Luft vorausgegangen war, der Blutdruck bei ruhiger Athmung in beliebigen Zwischenräumen gemessen.

Versuch XIII. Fünf Inspirationen compr. Luft.
(Grad der Compression = 10 mm Quecksilber.)

Blutdruck bei normaler Athmung	140 mm
Nach dem Versuche	130 „
Auf dieser Höhe hält sich der Druck mit geringen Schwankungen während 2 Minuten, um dann zu steigen auf	150 „
Auf dieser Höhe verharrt er wiederum etwa 2 Minuten lang und erreicht dann für kurze Zeit .	160 „
um dann wieder zurückzukehren auf	140 „

Versuch XIV. Acht Inspirationen compr. Luft.
(Grad der Compression = 19 mm Quecksilber.)

Druck bei normaler Athmung schwankt zwischen	145—150 mm
Nach den 8 Athemzügen	130 „
1 Minute später	125 „
$1^1/_2$ „ „	120 „
$2^1/_2$ „ „	125 „
3 „ „	140 „
4 „ „	170 „

5 Minuten später . . . . . 180 mm
6 „ „ . . . . . 190 „
7 „ „ . . . . . 175 „
Etwa 8 Minuten nach dem Versuche beträgt der Blutdruck noch . . . . . 155—160 „

Wir beobachten hier, wie aus Versuch XIII zunächst ersichtlich ist, eine 2 Minuten dauernde Nachwirkung, während welcher der Blutdruck 10 mm unter der Norm liegt. Wie wir uns ein derartiges Nachspiel zu erklären haben, ist schon eben berührt worden. Hier aber, wo längere Zeit comprimirte Luft geathmet wurde, kommt noch ein Weiteres hinzu. Der Blutdruck kehrt nicht, wie in den früheren Versuchen, sogleich wieder zur Norm zurück, sondern geht über dieselbe hinaus auf 150, auf welcher Höhe er wiederum 2 Minuten verharrt, um dann, nachdem er für kurze Zeit 160 erreicht hat, wieder zur Norm zurückzukehren. Noch prägnanter tritt uns dieses nachträgliche Steigen des Blutdrucks in Versuch XIV entgegen, bei dem ja auch eine stärkere Compression und mehr Athemzüge verwandt wurden.

Wenn wir nach einer Deutung dieser Blutdrucksteigerung suchen, so können wir, wie wir schon den nach dem Versuche noch einige Zeit dauernden niedrigen Blutdruck als Resultat vasomotorischer Einflüsse betrachten mussten, auch hier keinen andern Anhaltspunkt finden. Es liegt nun freilich die Erklärung für das Steigen des Blutdrucks nicht gerade auf der Hand. Es ist denkbar, dass, nachdem allmählich der depressorische Reiz, der, wie wir sahen, sowohl im Hering'schen Sinne, als auch durch Einwirkung des gut-entgasten Blutes auf das vasomotorische Centrum zu Stande kommen musste, aufgehört hat, der pressorische Tonus nun wieder in Kraft tritt und zwar wegen längerer Ruhe seines nervösen Centrums in einem solchen Maasse, dass zunächst eine Steigerung des Blutdrucks resultiren muss. Dass in der That ein solcher Wechsel in der Reizung der vasomotorischen Centren wohl zu supponiren ist, geht aus den Versuchen von

Zuntz[1]) hervor, der bei Erstickung von Kaninchen an den Ohrgefässen dieser Thiere zwei ganz entgegengesetzte Resultate beobachten konnte. „Waren die Gefässmuskeln vor der Einwirkung des Erstickungsreizes stark contrahirt, so erschlafften sie durch ihn, während er sie zur Contraction anregte, wenn sie vorher erschlafft waren.“ Der genannte Forscher glaubt diese Erscheinung so erklären zu müssen, dass „durch Erstickungsblut alle nervösen Centralapparate mächtig erregt werden, und dieser Effect stärker sein muss bei Ganglienzellen, die vorher in Ruhe waren, als bei solchen, die sich bereits längere Zeit im Zustande der Erregung befanden und dadurch ermüdet sind“.

Was endlich die Pulsfrequenz bei der Anwendung unserer in Frage stehenden Athmungsmodification betrifft, so haben wir stets während des Versuches einen rascheren Puls constatiren können, der auch nach dem Versuche noch kürzere oder längere Zeit andauerte, um dann erst zur Norm zurückzugehen. Immer war die Pulsfrequenz schon wieder die normale geworden, wenn der Blutdruck, wie dies in den beiden letzten Versuchen der Fall ist, nachträglich sich zur Steigerung anschickte.

Bezüglich der Wirkung der Inspiration comprimirter Luft sind wir desshalb berechtigt, zu sagen: Während der Inspiration comprimirter Luft sinkt der Blutdruck unter die Norm. Dieses Sinken des Blutdrucks findet statt auf Grund zweier Factoren, eines mechanischen und vor Allem physiologischen Factors, welche beide unter dem Einflusse des Gebrauchs comprimirter Luft in Kraft treten. Der niedrige Blutdruck ist auch noch mehr oder weniger lange Zeit als Nachwirkung unseres in Frage stehenden Athmungsmodus zu beobachten, und zwar so, dass diese Nachwirkung um so schärfer hervortritt, je

1) a. a. O. pag. 403.

länger der Gebrauch comprimirter Luft fortgesetzt wurde. Nach wenigen Athmungen kehrt der Druck allmählich zur Norm zurück, ohne vorher über seine gewöhnliche Grenze zu gehen, während nach mehreren Athmungen derselbe, bevor er zur Norm zurückkehrt, erst ebenso lange Zeit über das Normale steigt, wie er vorher unter ihm blieb, um dann erst allmählich auf sein früheres Maass zurückzukehren. Diese Nachwirkung, die sich zur Beobachtung drängt, ist auf Einflüsse der comprimirten Luft im Gebiete des Nervensystems zurückzuführen. Der Puls ist während des Versuches und noch einige Zeit nach dem Versuche frequenter, wie normal.

Exspiration in comprimirte Luft.

Wenn wir in comprimirte Luft ausathmen, so muss, gerade wie es bei Inspiration comprimirter Luft der Fall war, sich allmählich zwischen der Luft des Apparates und derjenigen der Lungen Druckgleichgewicht herstellen. Die Exspiration ist erschwert, weil der Kraft, mit welcher der Thorax seine Exspirationsstellung anzunehmen bestrebt ist, die Energie entgegensteht, mit welcher die verdichtete Luft des Apparates in die unter niedrigerem Drucke stehende Lungenluft einzuströmen und mit ihr in Druckgleichgewicht zu treten bestrebt ist. Je mehr diese Energie wächst, desto mehr muss die Exspiration erschwert sein, bis ein Stadium eintritt, in welchem überhaupt nicht mehr exspirirt werden kann, die ganze Kraft der Exspirationsmuskulatur vielmehr dazu verwandt werden muss, den Thorax in der unmittelbar vor der Exspiration existirenden Stellung zu erhalten. In diesem Falle würden wir ein Analogon zum Valsalva'schen Versuche haben. Dass schliesslich bei noch weiterer Compression die Exspirationskraft nicht mehr ausreicht, den Thorax in einer bestimmten Stellung zu erhalten, sondern dieser vom Andrange der Luft ausgedehnt wird, ist plausibel.

Die Wirkung, die wir von der Exspiration in comprimirte Luft zu erwarten haben, muss analog sein derjenigen, die wir bei Inspiration comprimirter Luft fanden. Wir sahen, dass bei dieser letztern Athmungsmodification die während und nach derselben auftretenden Erscheinungen in dem auf die innere Lungenoberfläche ausgeübten Drucke wurzelten, durch den eine Reizung der Lungennerven und eine Verminderung des negativen Druckes ausserhalb der Lungen im Thorax zu Stande kam. Ganz dasselbe muss auch bei Exspiration in comprimirte Luft der Fall sein. Hier ist aber noch ein weiteres Moment in Betracht zu ziehen. Während bei Inspiration comprimirter Luft ein Druckgleichgewicht zwischen Lungenluft und der Luft des Apparates statuirt war, wenn der Thorax in der höchsten Inspirationsstellung verharrte, ist in unserm Falle ein Druckgleichgewicht vorhanden, wenn der Thorax und desshalb auch die Lungen in Exspirationsstellung sich befinden. Wir wissen nun, dass die Lungen während der Exspirationsstellung eine nur viel geringere elastische Kraft zu entfalten vermögen, wie in der Inspirationsstellung, jene beträgt bekanntlich bei tiefster Exspiration etwa 7 mm, bei höchster Inspiration 30—40 mm Quecksilber. Schon bei gewöhnlicher Athmung muss also während der Exspiration der negative Druck im Thorax ausserhalb der Lungen geringer sein, wie bei der entgegengesetzten Athmungsphase; die Wirkung der comprimirten Luft, deren mechanischer Effect ja auf der Verminderung der Saugkraft des Thorax basirt, muss also, sobald sie, wie in unserm Falle, während der Exspiration zur Geltung gelangt, eine ergiebigere werden, eben weil in dieser letzteren Athmungsphase die Saugkraft schon an und für sich vermindert ist. Es ist nun hier wohl zu beachten, dass die für den mechanischen Effect der comprimirten Luft denkbar günstigste Bedingung, welche, wie aus dem Vorhergehenden klar ist, in der tiefsten Exspirationsstellung des Thorax gegeben sein muss, in unserm Falle nicht verwirklicht wird,

weil eben durch den Widerstand, den die comprimirte Luft dem Ausströmen der Athmungsluft entgegensetzt, ein Theil der Exspirationskraft verloren geht, und desshalb die äusserste Exspirationsstellung nicht erreicht werden kann. Unter allen Umständen ist aber die elastische Kraft bei der Stellung, welche die Lungen während der Exspiration in comprimirte Luft einnehmen, geringer, wie bei höchster Inspirationsstellung, und desshalb in unserm Falle auch eine deutliche Wirkung zu erwarten.

Bevor wir zu den Versuchen übergehen, müssen wir auf einen Punkt aufmerksam machen, der uns behufs Deutung der bei Ausathmung in comprimirte Luft zu erlangenden Resultate nicht unwichtig erscheint. Denken wir uns, es solle ein Mensch in Luft ausathmen, die einen Compressionsgrad von etwa 20 mm Quecksilber besitzt, so muss er, um überhaupt Luft aus seinen Lungen los zu werden, diese Luft unter einen höhern Druck versetzen, und zwar so lange, als Luft ausströmen soll, was geschieht bis zu dem Punkte, wo der Druck im Apparate gleich dem Drucke innerhalb der Lungen ist. Drückt nun gleich am Anfange des Versuches der Athmende sehr stark, so wird er auch einen grössern Compressionsgrad der Lungenluft erreichen, so dass, da in diesem Falle eine grosse Differenz zwischen dem Drucke im Apparate und demjenigen in der Lunge hergestellt ist, Luft mit grösserer Intensität aus der Lunge in den Apparat ausströmt, und desshalb auch die Ausathmung rascher beendigt ist, wie bei einem weniger starken Drucke von Seiten des Athmenden. Eine Compression der Luft in der Lunge wird also unter allen Umständen schon gleich am Anfange der Ausathmung stattfinden müssen, eine Compression, welche den im Apparate herrschenden Druck mehr oder weniger übertrifft. Je nachdem nun das Eine oder Andere der Fall ist, wird die Ausathmung rascher oder langsamer von Statten gehen, wird am Anfange das Experiment sich mehr oder weniger dem Valsalva'schen Versuche nähern. Von diesem

„Wie“ des Exspirirens hängt insofern viel ab, als man aus der Variabilität desselben auch die Differenz der Resultate begreifen kann, welche nicht selten am Anfange oder während der Exspiration zum Vorscheine kommen, auf die zwar, da sie nur vorübergehend sind und, sobald die möglich tiefste Exspirationsstellung erreicht ist, auf ein constantes Ergebniss hinauslaufen, nicht viel ankommt, die aber auf den ersten Blick stutzig machen können.

Wir wollen uns das Ergebniss unsers folgenden XV. Versuches etwas näher ansehen, um über jenen erwähnten Punkt ins Klare zu kommen und ihn bei den Besprechungen der folgenden Versuche als abgethan betrachten zu dürfen.

Versuch XV. Versuchsanordnung: Es wurde einmal in comprimirte Luft ausgeathmet und gleich am Anfange und während der allmählich von Statten gehenden Exspiration der Druck so oft, wie möglich, gemessen. Die Exspiration wurde thunlichst lange angehalten, während welcher Zeit der Druck wiederum gemessen wurde; nachher wurde ruhig geathmet.

(Der Compressionsgrad betrug 19 mm Quecksilber.)

Druck bei normaler Athmung	145 mm
Während der Exspiration in compr. Luft:	
Erste Messung	150 „
Zweite Messung	140 „
Während der tiefsten Exspirationsstellung:	
Erste Messung	130 „
Zweite Messung	120 „
Nach der Exspiration	120 „
1 Minute später	135 „
2 Minuten später	145 „

Wir sehen, dass die erste Messung während der Exspiration in comprimirte Luft einen Druck ergiebt, welcher denjenigen bei normaler Athmung um Weniges übertrifft, während er sofort nachher um dasselbe unter ihm bleibt, um

aber dann gleich während der tiefsten Exspirationsstellung merklich abzufallen, und erst allmählich in einem Zeitraume von 2 Minuten, während dessen ruhig geathmet wird, seine frühere Höhe wieder zu erlangen.

Wenn wir die geringe Drucksteigerung, welche die erste Messung während der Exspiration ergab, ganz aus dem Auge lassen und nur festhalten, dass der Druck während der Exspiration kaum sinkt, so muss uns dieses Resultat doch befremden Angesichts der Thatsache, dass gerade im Anfange und während der Exspiration in comprimirte Luft der Druck, unter dem die Luft innerhalb der Lunge steht, ein grösserer sein muss, als auf der Höhe derselben. Es muss also doch gleich am Anfange der Exspiration und während der ganzen Dauer derselben sowohl das mechanische, als physiologische Moment zur Geltung gelangen, von dem wir wissen, dass es den Druck herabzusetzen im Stande ist. Hier kommt uns nun folgendes Raisonnement zu Statten. Durch die der Exspiration vorhergehende tiefe Inspiration war die Lunge mit Blut reichlich gefüllt worden, so dass, sobald ein höherer Druck in derselben statuirt wird, ein Quantum Blut nach dem linken Atrium ausgepresst wird und der linke Ventrikel für einige Systolen reichlich versorgt ist mit Blut. Das Resultat wird desshalb, soweit diese Wirkung des höhern Druckes in der Lunge in Betracht kommt, eine Steigerung des Blutdruckes während dieser Systolen sein müssen. Dass eine solche stärkere Füllung des Arteriensystems für die Zeit einiger Systolen stattfindet, beweist das Ansteigen der Basallinie der von verschiedenen Forschern gewonnenen Sphygmogramme, die der Exspiration in comprimirte Luft angehören. Nun hat aber dasselbe Moment, das eine für die Zeit einiger Systolen dauernde stärkere Füllung des Arteriensystems bewirkt, auch eine Reizung der Lungennerven zur Folge, welche ihrerseits eine Druckherabsetzung im Hering'schen Sinne bewirkt. Falls beide Effecte des erhöhten Luft-Druckes in der Lunge sich

compensiren, wird am Blutdruck nichts geändert während der Zeit, in welcher eine Auspressung ins Arteriensystem stattfindet. Findet aber eine solche Compensation nicht statt und ist z. B. der mechanische Effect vorwiegend, so wird eine Steigerung des Blutdruckes die Folge sein, im entgegengesetzten Falle ein Sinken. Je stärker der Druck von Seiten des Athmenden am Anfange der Exspiration ausgeübt wird, eine desto stärkere Reizung der Lungennerven, eine desto ausgiebigere Herabsetzung des Blutdruckes im Hering'schen Sinne muss die Folge sein, während dieser stärkere Druck den mechanischen Effekt nicht in diesem Maasse steigern kann. Denn das Blut, wenn es auch mit grösserer Energie ausgepresst wird, muss doch erst, um ins Arteriensystem zu gelangen und eine Erhöhung des Blutdruckes zu bewirken, den linken Ventrikel passiren, dessen Arbeit, wie wir aus dem Valsalva'schen Versuche ja wissen, in Folge derselben Ursache erst später eine erhöhte wird. Wir können desshalb sagen: Je mehr sich die Art und Weise der Ausathmung in comprimirte Luft dem Valsalva'schen Versuche nähert, — und dies geschieht, falls mit grosser Wucht in mässig comprimirte Luft ausgeathmet wird oder die Ausathmung in stark comprimirte Luft mit allen Kräften erzwungen werden muss —, desto weniger ist am Blutdrucke etwas von einer Auspressung des Lungenblutes nach dem linken Ventrikel hin zu merken, desto sicherer statuiren sich schon von vornherein auf nervösem Wege die für die Wirkung der comprimirten Luft charakteristischen Erscheinungen.

Die im Vorhergehenden berührten Verhältnisse können natürlich nur so lange in Frage kommen, als der mechanische Effect der comprimirten Luft vorwiegend in einer Auspressung des Lungenblutes nach dem linken Herzen hin besteht und desshalb in Bezug auf den Blutdruck dem Resultate des physiologischen Effectes entgegengesetzte Wirkungen äussern muss. Sobald sich unter dem Einflusse des erhöhten Luftdruckes eine wegen Erschwerung des Venenblutzuflusses zum

Thorax erklärliche Stauung im venösen Systeme ausgebildet hat, die ja bekanntlich auch ein Sinken des Blutdruckes in dem zugehörigen arteriellen Gebiete zur Folge hat und desshalb im Einverständnisse mit dem physiologischen Factor wirkt, wird ein Sinken des Blutdruckes nicht lange mehr auf sich warten lassen. So sehen wir denn auch, dass der Blutdruck in unserm Versuche rasch fällt und sich erst eine Minute nach der Exspiration wieder erholt.

Versuch XVI. Versuchsanordnung: Es wurde zunächst, nachdem vorher tief inspirirt war, einmal in comprimirte Luft exspirirt, sodann wieder aus freier Atmosphäre inspirirt, um zum zweiten Male in verdichtete Luft exspirirt zu werden. Erst auf der Höhe dieser zweiten Exspiration wurde der Blutdruck gemessen; ebenso nachher bei ruhiger Athmung.

(Grad der Compression = 19 mm Quecksilber).

Druck bei normaler Athmung	145 mm
Auf der Höhe der Exspiration	135 „
Sofort nach der Exspiration	125 „
½ Minute später	135 „
¾ „ „	145 „
1 „ „	145 „
1¼ „ „	145 „
1½ „ „	145 „
2½ „ „ Schwankung zwischen 140—145	„

Versuch XVII. Versuchsanordnung dieselbe, wie vorher.

Druck bei normaler Athmung	145 mm
Auf der Höhe der Exspiration	120 „
Sofort nach derselben	130 „
½ Minute später	140 „
1 „ „	145 „
1½ „ „	140 „
2 „ „	145 „

Versuch XVIII. Es wurden 4 Exspirationen in comprimirte Luft gemacht; im Uebrigen ist die Versuchsanordnung dieselbe, wie bei den vorigen Versuchen.

Druck bei normaler Athmung	145 mm
Auf der Höhe der Exspiration	120 „
Nach der Exspiration	120 „
3/4 Minute später	140 „
1 „ „	160 „
1 1/2 „ „	160 „
2 „ „	180 „
3 „ „	160 „
3 1/4 „ „	150 „
4 „ „	145 „

Versuch XIX. Fünf Exspirationen in comprimirte Luft. Im Uebrigen Versuchsanordnung dieselbe, wie vorher.

Druck bei normaler Athmung	145 mm
Auf der Höhe der fünften Exspiration	125 „
1/4 Minute später	120 „
1/2 „ „	140 „
3/4 „ „	145 „
1 „ „	160 „
1 1/4 „ „	160 „
1 3/4 „ „	170 „
2 1/4 „ „	160 „
2 1/2 „ „	160 „
2 3/4 „ „	160 „
3 1/4 „ „	150 „
4 „ „	145 „

Das Charakteristische für sämmtliche Versuche ist, dass der Blutdruck auf der Höhe der letzten modificirten Exspiration unter der Norm liegt und nachher noch eine mehr oder weniger lange Zeitdauer niedrig bleibt. Sollen wir dies Ueberdauern des niedrigen Blutdrucks dadurch erklären, dass die Ursache, also der erhöhte Luftdruck in der Lunge, weiter

existirt, oder müssen wir auf Grund der vorliegenden Verhältnisse annehmen, dass die Ursache bei der auf die modificirte Exspiration selbst folgenden Inspiration erloschen ist, dagegen nur noch der Effect jener Ursache fortdauert? Sobald nach der Exspiration in comprimirte Luft aus der Atmosphäre inspirirt wird, kann von einer Luftverdichtung innerhalb der Lunge nicht mehr die Rede sein, denn die Lungenluft muss eben durch die Inspirationsbewegung des Thorax zunächst bis unter den Atmosphärendruck verdünnt werden, wenn überhaupt Luft in die Lunge eintreten soll. Die erste Ursache des niedrigen Blutdrucks muss also vorüber sein, und das Ueberdauern desselben über die Exspiration hinaus wohl einem Nachklingen des physiologischen Effects zugeschrieben werden.

Bei der weiteren Verfolgung der Resultate fällt uns die Analogie derselben mit denjenigen auf, welche wir auch bei Inspiration comprimirter Luft beobachten konnten. In den Versuchen XVI und XVII, bei welchen nur 2 Exspirationen in comprimirte Luft gemacht wurden, kehrt der Blutdruck von seinem niedrigen Stande sofort wieder auf sein normales Maass zurück, während er in den beiden folgenden Versuchen, welche 4 und 5 Exspirationen umfassen, zunächst nicht unbedeutend steigt, um dann erst wieder in sein früheres Geleise zurückzutreten.

Zur Erklärung dieses Verhaltens des Blutdrucks werden wir dieselben Momente heranziehen müssen, welche wir auch oben berücksichtigt haben. Greifen wir z. B. den letzten Versuch heraus und stellen uns vor, dass während der 5 Athmungen eine Reizung des vasomotorischen Centrums in dem schon oft erwähnten depressorischen Sinne zu Stande kommen musste, so ist die Annahme doch wohl berechtigt, dass während dieser Zeit eine Anhäufung von Spannkraft in dem ausser Thätigkeit gewesenen pressorischen Centrum stattfand[1]). So-

1) Cf. Zuntz a. a. O. pag. 403.

bald die Reizung des im gegensätzlichen Sinne wirkenden Centrums aufhört, wird diese Spannkraft sich entladen können und ihren Effect auf den Blutdruck nicht verfehlen. Hierzu kommt, dass eine aktive Auslösung nicht unmöglich scheint, weil doch während der fünf Exspirationen in comprimirte Luft eine nicht genügende Ventilation des Blutes zu supponiren ist und desshalb eine Reizung des pressorischen Centrums wohl angenommen werden kann. Aus dieser Möglichkeit mag es sich erklären, dass eine Steigerung des Blutdrucks bei der Nachwirkung der jetzt in Frage stehenden Athmungsmodification viel früher sich einstellt, als wie wir bei Gelegenheit der Untersuchungen bezüglich der Inspiration comprimirter Luft beobachten konnten.

Dass diese berührte Steigerung nicht eintritt nach einer oder zwei Exspirationen in comprimirte Luft, mag darin seinen Grund haben, dass wegen der kürzeren Dauer des Experimentes die eben in Betracht gezogenen Zustände nicht in einer merklichen Weise sich ausbilden können. Es muss hier eben eine Grenze geben.

Versuch XX. 5 Exspirationen in comprimirte Luft.

(Grad der Compression = 19 mm Quecksilber.)

Druck bei normaler Athmung	145 mm
Auf der Höhe der fünften Exspiration	125 „
Nach derselben	130 „
½ Minute später	135 „
1 „ „	140 „
Es wurden jetzt 3 tiefe Athmungen aus der Atmosphäre gemacht;	
Blutdruck	140 „
Nach 3 weiteren tiefen Athemzügen:	
Blutdruck	140 „
1 Minute später	140 „
2 Minuten später	145 „

Versuch XXI. Versuchsanordnung, wie bei dem vorigen Versuche.

Druck bei normaler Athmung	140	mm
Auf der Höhe der fünften Exspiration	120	„
1/4 Minute später	120	„
1/2 „ „	125	„
3/4 „ „	135	„
1 „ „	140	„
1 1/4 „ „	150	„
Drei Athemzüge aus der Atmosphäre:		
Blutdruck	140	„
1/4 Minute später	140	„
1/2 „ „	140	„
1 „ „	140	„

In den beiden vorausgeschickten Versuchen tritt uns die interessante Erscheinung entgegen, dass das Steigen des Blutdrucks, welches wir doch, wie aus den Versuchen XVIII und XIX hervorgeht, nach 5 Exspirationen in comprimirte Luft zu erwarten haben, hier coupirt werden kann durch einige tiefe Athemzüge aus der Atmosphäre. In dem letzten Versuche sehen wir, dass etwa 1 Minute nach der fünften Exspiration in comprimirte Luft der Blutdruck im Steigen begriffen ist, aber sofort wieder auf sein früheres Maass zurückkehrt, sobald tiefe Athemzüge gemacht werden. Ob durch diese Athmungen, welche jedenfalls eine prompte Ventilation des Blutes zur Folge haben, die Auslösung der Spannkraft des pressorischen Centrums vereitelt werden kann, oder ob andere Ursachen für das hier gefundene Phaenomen existiren, will ich nicht entscheiden. Es mag genügen, auf dasselbe hingedeutet zu haben.

Was die Pulsfrequenz bei Exspiration in comprimirte Luft anbelangt, so fanden wir, dass dieselbe regelmässig, so lange der Einfluss des höhern Luftdrucks stattfand, stieg, wenn auch diese Steigerung nicht immer eine gleichmässige war. Nach dem Aussetzen der comprimirten Luft kehrte der Puls allmählich zur früheren Norm zurück.

Wir kommen zu dem Schlusse: Durch die Exspiration in comprimirte Luft wird der Blutdruck herabgesetzt. Der niedrige Druck überdauert die Ausathmung um kurze Zeit, um dann entweder sofort auf sein früheres Maass zurückzukehren, oder erst, nachdem er vorher gestiegen war. Das Erstere findet statt bei wenigen Exspirationen, das Letztere, sobald ein länger fortgesetzter Gebrauch der comprimirten Luft in Frage kommt; die Pulsfrequenz steigt während des Experimentes selbst, um nach demselben in das frühere Geleise zurückzugehen.

Inspiration und Exspiration comprimirter Luft.

Wir haben, trotzdem nach den angestellten Betrachtungen das Resultat wohl theoretisch construirt werden konnte, auch noch Einathmungen comprimirter Luft und Ausathmungen in dieselbe mit einander verbunden und auch bei diesem Athmungsmodus den Blutdruck controlirt.

Versuch XXII. Versuchsanordnung: Es wurde fünf Mal aus comprimirter Luft ein- und in dieselbe wieder ausgeathmet. Auf der Höhe der fünften Exspiration wurde der Blutdruck gemessen; diese Messungen wurden nach dem Versuche bei ruhiger Athmung weiter fortgesetzt.

(Grad der Compression = 19 mm Quecksilber.)

Druck bei normaler Athmung	140 mm
Auf der Höhe der fünften Exspiration	120 „
1/2 Minute später	120 „
3/4 „ „	120 „
1 „ „	125 „
1 3/4 „ „	125 „
2 1/4 „ „	135 „
3 „ „	135 „

$3^1/_2$	Minuten	später	145 mm
$3^3/_4$	„	„	150 „
4	„	„	150 „
5	„	„	170 „
$5^1/_4$	„	„	180 „

Noch während 3 Minuten Schwankung zwischen 160 u. 180 „

Dann allmählich Abfall bis zur Norm. Dass hier eine eingreifendere Wirkung zu Stande kommen muss, wie wenn nur eine Athemphase, entweder In- oder Exspiration, unter dem Einflusse comprimirter Luft geschieht, ist klar aus all' den Gründen, die wir an den betreffenden Stellen näher erörtert haben. Wir sehen auch nun in der That, dass der niedrige Blutdruck längere Zeit das Experiment selbst überdauert, und dass die darauf folgenden höhern Werthe nur ganz allmählich zurückgehen. Beispielsweise ist in Versuch XIX der Blutdruck 4 Minuten nach dem Experiment schon wieder zur Norm zurückgekehrt, während er in unserm Falle $5^1/_4$ M. nach demselben noch weit über dem Normalen liegt.

Inspiration verdünnter Luft.

Es muss uns von vornherein schon auf Grund theoretischer Betrachtung einleuchten, dass die Wirkung, welche die verdünnte Luft auf die Circulation ausübt, eine im Wesentlichen dem Effecte, welchen wir bei der Anwendung der comprimirten Luft gesehen haben, entgegengesetzte sein wird. Während hier als mechanischer Factor die Herabsetzung der Saugkraft des Thorax und desshalb eine Erschwerung des Venenblutzuflusses zum rechten Herzen in Betracht kam, wird uns beim Gebrauche der verdünnten Luft, und zwar in höherem Maasse, das Gegentheil entgegentreten. Wir wissen, dass bei jeder normalen Inspiration die Saugkraft des Thorax steigt, nicht so sehr, weil eine Luftverdünnung in der Lunge stattfindet, sondern, weil die Lunge, auf ihr Maximum ausgedehnt, eine bei Weitem grössere elastische Kraft entfaltet, wie im Zustande der Contraction,

den sie bei der Exspirationsstellung des Thorax einnimmt. Diese elastische Kraft, welche bei der höchsten Inspirationsstellung etwa 30—40 mm Quecks. beträgt, muss natürlich in ihrem Werthe von dem Drucke innerhalb der Lunge abgezogen werden, um den Werth für den ausserhalb der Lungen im Thorax herrschenden Druck zu erhalten. Bei gewöhnlicher tiefer Inspiration ist also dieser Druck gleich dem Atmosphärendruck minus den Werth der elastischen Contractionskraft des Lungengewebes, während er bei Inspiration verdünnter Luft, wie leicht ersichtlich, nach der negativen Seite hin wächst. Da nun der negative Druck im Thorax ein wesentlicher Factor für die Unterhaltung der lebendigen Kraft des Venenblutstromes ist, so kann er, falls er grösser wird, eine merklich günstige Wirkung nach dieser Richtung hin ausüben. Kurz, es kommt ein vermehrter Zufluss zum rechten Herzen zu Stande unter dem Einflusse der verdünnten Luft.

Verfolgen wir vom rechten Herzen aus den Pulmonalkreislauf weiter und fragen wir uns: Wie wirkt die verdünnte Luft auf die innerhalb der Lunge verlaufenden Gefässe? Eingangs dieser Arbeit haben wir schon, bezugnehmend auf die Berechnungen von Zuntz, darauf hingewiesen, dass an eine Verengerung der Lungengefässe während der normalen tiefen Inspiration nicht zu denken ist, vielmehr liege die Möglichkeit vor, dass eine Erweiterung der Lungengefässe durch den dieselben passirenden Blutstrom zu Stande komme. Sehen wir von dieser letzteren Möglichkeit ganz ab und halten wir nur fest, dass eine Verengerung der Lungengefässe während der tiefen normalen Inspiration nicht anzunehmen ist, so liegt es auf der Hand, dass, sobald der auf der Oberfläche der Lungengefässe lastende Luftdruck — wie dies bei Inspiration verdünnter Luft geschieht —, verringert wird, eine Erweiterung der Gefässe die Folge sein muss. Wir dürfen diese Thatsache nicht aus dem Auge lassen, weil durch eine solche Erweiterung Blut in der Lunge zurückge-

halten und dem linken Ventrikel entzogen werden kann, so dass in Folge dessen eine geringere Füllung des Arteriensystems mit ihren Consequenzen resultirt, welche nicht im Einklang steht mit dem vermehrten Blutzufluss zum rechten Herzen.

Näher auf den Einfluss, der beim Gebrauche der verdünnten Luft auf die das Blut aus dem Thorax abführenden Gefässe und das Herz selbst zu Stande kommen muss, einzugehen, glaube ich mir ersparen zu können, da dieser Einfluss, wie leicht ersichtlich, gerade der entgegengesetzte von demjenigen sein muss, der uns bei der Anwendung comprimirter Luft entgegentritt. Es sei hier nur hervorgehoben, dass Waldenburg[1]) diesem Einflusse eine hervorragende Rolle zukommen lässt. Er betont, dass durch den erheblich gesteigerten negativen Druck, welcher im Thorax unter dem Einflusse der verdünnten Luft zu Stande kommt, „die Arbeit des Herzens erschwert, dadurch die Herzkraft für die Systole herabgesetzt und in Folge dessen der Druck im Aortensystem vermindert wird". Er erklärt aus dieser Erschwerung der Herzarbeit den Pulsus mollis, den er beobachtet hat. Ich habe schon an einer andern Stelle bei Gelegenheit der Besprechung der Einwirkung comprimirter Luft hervorgehoben, dass ich ein derartig tiefes Eingreifen in die Herzarbeit durch Herabsetzen oder Steigern des negativen Druckes, dem das Herz ausgesetzt ist, Angesichts der Energie, mit welcher doch diese Arbeit vor sich geht, nicht zugeben kann. Ausserdem hat Waldenburg wohl auch hier ausser Acht gelassen, dass der Herzmuskel, wie Analoga aus der Muskelphysiologie beweisen, und wie es speciell aus den Experimenten Lichtheims hervorgeht, im Stande ist, sich einer an ihn gestellten grösseren Anforderung, wie diese durch die stärkere Blutzufuhr bei Inspiration verdünnter Luft sich einstellt, momentan zu accomodiren. Dieses Bestreben der Accomo-

1) a. a. O.

dation, das doch jedenfalls in nervösen Apparaten seinen Ursprung findet, scheint mir doch mit Erfolg in den Vordergrund zu treten gegenüber der Behinderung, welche dieser Muskel an seiner Contraction durch Vergrösserung des ausser ihm herrschenden negativen Druckes erfährt.

Aus den im Vorigen angestellten Betrachtungen geht hervor, dass die Inspiration verdünnter Luft den normalen Effect der gewöhnlichen Inspiration steigern muss. Es ist desshalb von Interesse, einen Versuch vorauszuschicken, in welchem während tiefer normaler Inspiration der Blutdruck gemessen wurde.

Versuch XXIII. Versuchsanordnung: Es wurde möglichst tief inspirirt und der Thorax, so lange wie möglich, in der höchsten Inspirationsstellung erhalten. Auf der Höhe der Inspiration wurde der Blutdruck zweimal gemessen, ebenso nach der Exspiration.

Druck vor der Inspiration	145 mm
Auf der Höhe der Inspiration:	
Erste Messung	150 „
Zweite Messung	155 „
Nach der auf die tiefe Inspiration folgenden Exspiration	150 „
¼ Minute später	145 „

Der Versuch belehrt uns, dass auf der Höhe der Inspiration der Blutdruck über der Norm liegt, was die Folge der stärkeren Blutzufuhr zum Thorax und damit auch zum linken Herzen ist; auch nach dem Versuche bleibt der Druck noch einige Millimeter über dem Normalen, was ich mir so erkläre, dass das linke Herz auch, nachdem schon exspirirt war, noch von dem Plus Blutes zehrt, was durch die tiefe und langdauernde Inspiration den Lungen zugeführt worden war.

Versuch XXIV. Es wurde während resp. auf der Höhe einer tiefen Inspiration verdünnter Luft der Blutdruck gemessen.

(Grad der Verdünnung = — 13 mm Quecksilber.)

Druck bei normaler Athmung	145 mm
Auf der Höhe der Inspiration:	
Erste Messung	150 „
Zweite Messung	150 „
Nach der Ausathmung	160 „
$^3/_4$ Minute später	150 „
Noch kurze Zeit Schwankung zwischen . .	140—150 „

Versuch XXV. Versuchsanordnung: Es wurde einmal aus verdünnter Luft inspirirt, sodann in die Atmosphäre exspirirt. Bei der zweiten Inspiration verdünnter Luft wurde der Blutdruck gemessen.

(Grad der Verdünnung, wie oben.)

Druck bei normaler Athmung	145 mm
Auf der Höhe der zweiten Inspiration:	
Erste Messung	150 „
Zweite Messung	155 „
Nach der Exspiration	160 „
Dann noch etwa 2 Minuten Schwankung zwischen	150 und 160 „

Allmählicher Abfall zum Normalen.

Es fällt hier auf, dass der Blutdruck in Versuch XXIV und XXV erst nach der auf die Inspiration folgenden Ausathmung sein Maximum erreicht. Dieses Verhalten des Blutdrucks wird uns jedoch nicht mehr befremden können, wenn wir in Folgendem das Resultat mehrerer Einathmungen verdünnter Luft näher ins Auge fassen.

Versuch XXVI. Zur Untersuchung der Nachwirkung bei der Inspiration verdünnter Luft wurde zehn Mal aus verdünnter Luft inspirirt und in die Atmosphäre exspirirt. Nach der zehnten Exspiration, der also die letzte Inspiration ver-

dünnter Luft vorausgegangen war, wurde der Blutdruck in beliebigen Zeiträumen, während ruhig geathmet wurde, gemessen.

(Grad der Verdünnung = — 10 mm Quecksilber.)

Druck bei normaler Athmung . . . . . 145 „
Nach der zehnten Exspiration . . . . . 140 „
Rasches Steigen auf . . . . . 145 „
½ Minute später . . . . . 155 „
Auf dieser Höhe bleibt der Druck etwa 1½ Minute;
Dann . . . . . 160 „
Schwankend zwischen . . . . . 160 u. 170 „
hält er sich noch einige Zeit.

Versuch XXVII. Versuchsanordnung, wie im vorigen Versuche.

Druck bei normaler Athmung . . . . . 150 mm
Nach der zehnten Exspiration . . . . . 150 „
1 Minute später . . . . . 167 „
½ „ „ . . . . . 170 „
Er hält sich noch mit Schwankungen nach . . . 180 „
eine Zeit lang auf dieser Höhe.

Versuch XXVIII. Versuchsanordnung dieselbe, wie vorher.

Druck bei normaler Athmung . . . . . 150 mm
Nach der zehnten Exspiration . . . . . 140 „
½ Minute später . . . . . 160 „
1 „ „ . . . . . 170 „
Auf dieser Höhe verharrt er noch eine Zeitlang mit
Schwankungen nach . . . . . 180 „

Versuch XXIX. Versuchsanordnung dieselbe, wie vorher.

Druck bei normaler Athmung . . . . . 145 mm
Nach der zehnten Exspiration . . . . . 145 „
Um rasch zu steigen auf . . . . . 155 „
1 Minute später . . . . . 170 „
1¼ „ „ . . . . . 175 „
Auf dieser Höhe verharrt er noch eine Zeit lang.

Versuch XXX. Versuchsanordnung dieselbe, wie vorher.

Druck bei normaler Athmung	140 mm
Nach der zehnten Exspiration	140 „
$^1/_2$ Minute später	140 „
1 „ „	150 „
2 „ „	160 „
3 „ „	160 „

Er hält sich auf 160—170 bis zur siebenten Minute nach dem Versuche.

$7^1/_4$ Minute nach dem Versuche	140 „

Die angeführten sechs Versuche, welche uns über die Nachwirkung, die länger fortdauernden Inspirationen verdünnter Luft zukommt, informiren sollten, zeigen uns eine gewisse Constanz in ihren Resultaten. Wir sehen, dass bei sämmtlichen Versuchen der Blutdruck direct nach der zehnten Exspiration, also gleich nach dem Versuche, mindestens keine Steigerung aufweist, sogar in Versuch XXVIII und XXVI, wenn auch nur für kürzere Zeit, einige Millimeter unter der Norm liegt. Mehr oder weniger rasch kommt dann die Steigerung des Blutdrucks zu Stande. Dieser anfänglich geringe Blutdruck, welcher nach mehreren Inspirationen verdünnter Luft zu beobachten ist, bietet besonderes Interesse. Wir haben schon darauf aufmerksam gemacht, dass unter dem Gebrauche der verdünnten Luft die intrathoracischen und besonders die intrapulmonalen Gefässe an Lumen gewinnen müssen. Es ist mir nun sehr wahrscheinlich, dass unter dem längeren Gebrauche verdünnter Luft, wie z. B. in unserm Falle während zehn Inspirationen, eine sehr starke Vergrösserung der Lumina der Lungengefässe stattfindet. Dadurch kann der kleine Kreislauf auf Kosten des grossen eine grosse Menge Blutes fassen, so dass trotz des erleichterten Venenblutzuflusses zum Thorax doch schliesslich eine grössere Menge Blut, wie normal, weder dem Thorax zufliesst, noch ihn verlässt. Ein solches Stadium, in welchem also der Thorax soviel Blut beherbergt, dass dem grossen Kreislauf

zu wenig übrig bleibt, als dass eine Drucksteigerung in demselben zu Stande kommen könne, muss sich während der lange fortgesetzten Inhalationen ausgebildet haben. Es kann, wie uns Versuch XXVI und XXVIII lehren, unter diesen Bedingungen zu einem Sinken des Blutdrucks kommen. Erst nachdem die Inhalation verdünnter Luft ausgesetzt ist und sich wieder ein normaler Atmosphärendruck in den Lungen etablirt hat, erst nachdem die intrapulmonalen und intrathoracischen Bahnen ihr früheres Lumen wieder anzunehmen bestrebt sind, entleert sich das Plus von Blut, welches in der Lunge und im Thorax Platz gefunden hatte, in den grossen Kreislauf, so dass jetzt eine beträchtliche Blutdrucksteigerung resultirt. Eine Fortdauer der Luftverdünnung auch während der Exspiration, wie sie Waldenburg annimmt, scheint nicht nothwendig zuzugeben. Denken wir uns die Lunge auf der Höhe der Inspiration angefüllt mit Luft, die einen geringeren Dichtigkeitsgrad besitzt, wie die Atmosphäre, so muss doch, falls Luft entweichen soll aus den Lungen, jene zunächst unter denselben, ja höhern Compressionsgrad versetzt werden, wie die Atmosphäre. Die erste Anstrengung des Thorax während der Exspiration hat also noch gar kein Ausströmen der Luft zur Folge, sondern kann nur dazu dienen, die Luft bis zu dem Grade in den Lungen zu comprimiren, dass sie bei der nun folgenden Anstrengung wirklich in die Atmosphäre entweicht. Es kann desshalb auch nicht die Rede sein von einer fortgesetzten mechanischen Einwirkung der Luftverdünnung während der Exspiration.

Zu dieser eben erwähnten Blutdrucksteigerung, welche ja mehrere Minuten nach dem Versuche sich beobachten lässt, wird auch zum nicht geringsten Theile eine dyspnoische Reizung des pressorischen Centrums beitragen können, welche bei der unvollkommenen Ventilation, die unter dem Gebrauche verdünnter Luft stattfindet, wohl zu supponiren ist.

Nach diesen Erwägungen wird uns auch das Resultat

der Versuche XXIV und XXV einleuchten. Dort stieg, wie wir sahen, erst sofort nach der Exspiration der Blutdruck auf sein Maximum. Auch dort wurde Blut in den Lungengefässen zurückgehalten, und es hätte nur einer weitern Fortsetzung der Athmungsprocedur bedurft, um eine solche Blutfülle im Thorax hervorzubringen, dass darunter der grosse Kreislauf litt, und eine Steigerung des Blutdrucks während der Inspiration verdünnter Luft überhaupt nicht mehr zu Stande kam.

Es lässt sich an diese Ergebnisse folgende Betrachtung anknüpfen, die geeignet sein möchte, die eventuellen Differenzen der Resultate, welche beim Experimentiren mit verdünnter Luft, je nachdem sie in verschiedenem Grade verdünnt ist und verschieden lange Zeit applicirt wird, erhalten werden, zu erklären. Stellen wir uns ein vollkommenes Kreislaufsgleichgewicht, wie es vor dem Versuche herrscht, vor, so müssen wir vor allen Dingen festhalten, dass der linke Ventrikel während der Diastole ganz dasselbe Blutquantum erhält, welches der rechte Ventrikel während der Systole entleert. Sobald nun verdünnte Luft inspirirt wird, tritt nach zwei Seiten hin eine Veränderung ein. Einmal wird, weil die Saugkraft stärker ist, dem rechten Ventrikel mehr Blut zugeführt, wie normal, dann wird für das Blut, welches derselbe entleert, ein geräumigerer Weg geschaffen, weil sich unter dem verminderten Luftdruck die Gefässe des kleinen Kreislaufs erweitern. Beides geschieht, sobald der nöthige Verdünnungsgrad der Lungenluft während der Inspiration erreicht ist. Die erste Systole des rechten Ventrikels, die unter dem Einflusse der verdünnten Luft stattfindet, wirft mehr Blut in eine weitere Gefässbahn. Das oben berührte Kreislaufsgleichgewicht, welches darin besteht, dass der linke Vorhof in einer bestimmten Zeiteinheit ebenso viel Blut bekommt, wie der rechte Ventrikel ausgiebt, wird desshalb zuvörderst geändert. Denken wir uns nämlich, dass der Luftdruck auf die innere Lungenoberfläche vermindert wird,

und desshalb entsprechend dieser Abnahme des Druckes ein gewisses Blutquantum mehr, als vorher, in die Lungengefässe gelangt, so kommt dieses Plus von Blut vorerst noch gar nicht in den Bereich des linken Ventrikels und, so lange dasselbe erst in die unter dem Einflusse der verdünnten Luft erweiterten Lungengefässe einströmt und diese füllt, muss nothwendig der Druck im Systeme des linken Ventrikels, weil ja die Luftverdünnung in den Lungen dem Abflusse des Lungenvenenblutes in das linke Atrium hinderlich ist, wenn auch nur wenig, herabgesetzt sein. Hat sich aber entsprechend der Luftdruckverminderung auf der Lungenoberfläche eine stärkere Füllung der Lungengefässe hergestellt, dann wird ein Zustand kommen, in dem so viel Blut in den linken Vorhof abfliesst, als vom rechten Ventrikel in den kleinen Kreislauf hineingeworfen wird. Es hat sich nun unter dem Einflusse der verdünnten Luft, deren erster Effect eine stärkere Füllung der Lungengefässe war, ein neues Kreislaufsgleichgewicht hergestellt. In diesem Zustande ist der Druck im Systeme des linken Ventrikels abhängig von der Blutmenge, die in der gleichen Zeiteinheit vom rechten Ventrikel ausgegeben wird, abgesehen davon, dass sich immer modificirende nervöse Einflüsse einmischen können. Diese Blutmenge kann nun nicht dieselbe sein, welche der rechte Ventrikel bei seiner ersten Systole unter dem Einflusse der verdünnten Luft in den kleinen Kreislauf warf, sondern muss, weil sich der letztere auf Kosten des grossen Kreislaufs an Blut bereichert hat, und dieser endlich erschöpfen muss, kleiner sein. Werden nun die Lungengefässe unter dem Einflusse der verdünnten Luft stark erweitert, so wird es lange dauern, bis sie gefüllt sind, wird desshalb auch erst spät das neue Kreislaufsgleichgewicht sich herstellen. Hat sich nun um diese Zeit der kleine Kreislauf auf Kosten des grossen so sehr bereichert, dass beim neuen Kreislaufsgleichgewicht trotz der vergrösserten Saugkraft im Thorax nicht mehr oder gar weniger Blut, wie normal, aus dem grossen Kreislauf

ins rechte Herz und desshalb auch in den linken Vorhof gelangt, so kann es vorkommen, dass der Druck im Arteriensysteme derselbe bleibt oder herabgesetzt ist. In einem dritten Falle, wo eine geringere Erweiterung der Lungengefässe stattfindet, wird das neue Kreislaufsgleichgewicht so rasch hergestellt sein, dass, trotzdem mehr Blut, wie normal, im kleinen Kreislaufe beherbergt wird, doch grössere Blutquantitäten zwischen dem rechten und linken Herzen circuliren und desshalb der Blutdruck im Systeme des letzteren erhöht sein muss.

Man könnte dieser Betrachtung entgegenhalten, dass der Einfluss der verdünnten Luft auf die intrapulmonalen und intrathoracischen Gefässe zu demjenigen, der sich auf den vermehrten Blutzufluss zum rechten Herzen erstreckt, immer in demselben Verhältnisse stehen müsste, so zwar, dass, wenn die Lungengefässe sehr erweitert würden, auch in demselben Verhältnisse mehr Blut aus dem grossen Kreislaufe in den kleinen gelangte und die Zeit, bis das neue Kreislaufsgleichgewicht hergestellt ist, immer dieselbe wäre. Auf diese Weise müsste dann, weil immer im Verhältnisse zur Erweiterung der Lungengefässe bestimmte Blutquanta in den kleinen Kreislauf gelangten, das Resultat bezüglich der Wirkung auf den Blutdruck im Systeme des linken Ventrikels immer dasselbe sein. Dieses berührte Verhältniss existirt jedoch nicht, wie aus unsern Experimenten deutlich hervorgeht. Wurde einmal aus verdünnter Luft inspirirt, so stieg der Blutdruck während der Inspiration, wenn auch nicht auf sein Maximum.

Die einmalige Inspiration genügte also schon, einen vermehrten Blutzufluss zu den Lungen zu bewerkstelligen, jedoch nicht, um in demselben Verhältnisse die Lungengefässe zu erweitern, so dass diese rasch gefüllt wurden, und das neue Kreislaufsgleichgewicht schon hergestellt war, so lange der rechte Ventrikel noch mehr Blut in den kleinen Kreislauf warf, wie normal. Anders verhält es sich, wenn

wir längere Zeit verdünnte Luft athmen. Dort bereichert sich der kleine Kreislauf auf Kosten des grossen in dem Maasse, dass entweder der Blutdruck nur normal bleiben oder gar geringer werden muss. Es ist diese Thatsache begreiflich, weil sich ja die Blutzufuhr endlich erschöpfen muss, während eine Erweiterung der Lungengefässe, so lange die verdünnte Luft wirkt, weiter existirt, und zwar bis zu einem gewissen Grade, je nachdem die in Frage stehende Athmungsmodification lange genug fortgesetzt wird.

Wir sind desshalb berechtigt, zu sagen: Bei ein- bis zweimaliger Inspiration verdünnter Luft steigt der Blutdruck während der Inspiration, um seine grösste Höhe erst bei der folgenden Exspiration zu erreichen. Bei länger fortdauernden Einathmungen verdünnter Luft kann der Blutdruck derselbe bleiben oder auch fallen, was sich im concreten Falle nach dem Grade der angewandten Verdünnung und der Dauer des Experimentes richtet. Als Nachwirkung haben wir immer ein bedeutendes Steigen des Blutdrucks.

Exspiration in verdünnte Luft.

Den geringsten Effect muss unter allen möglichen Athmungsmodificationen die Exspiration in verdünnte Luft äussern. Da bei gewöhnlicher Exspiration die Saugkraft des Thorax verringert ist gegen diejenige bei der Inspiration, so wird, wenn auch jene Saugkraft dadurch, dass während der Exspiration in verdünnte Luft ein geringerer Druck auf die innere Oberfläche der Lunge ausgeübt wird, vermehrt wird, sie doch kaum die Höhe erreichen können, welche sie während der gewöhnlichen tiefen Inspiration aufweist. Entsprechend dieser Thatsache sind auch die Resultate, die wir desshalb auch nur von zwei Versuchen anführen wollen.

Versuch XXXI. Eine Exspiration in verdünnte Luft.

(Grad der Verdünnung = — 13 mm Quecksilber.)

Druck bei normaler Athmung	140 mm
Auf der Höhe der Exspiration	145 „
Bei der folgenden Inspiration	145 „
½ Minute später	140 „

Versuch XXXII. Drei Exspirationen in verdünnte Luft; auf der Höhe der dritten Exspiration wurde der Blutdruck gemessen.

(Grad der Verdünnung, wie oben.)

Druck bei normaler Athmung	140 mm
Auf der Höhe der Exspiration	145 „
Nach derselben	150 „
½ Minute später	155 „
1 Minute später	145 „

Werfen wir zum Schlusse einen Rückblick auf unsere angeführten und besprochenen Resultate, so werden wir dieselben im Allgemeinen im Einklang finden mit denjenigen der Meisten von den Forschern, welche überhaupt den Einfluss der verschiedenen Athmungsmodi bis jetzt an Sphygmogrammen studirt haben.

Nicht minder wird sich uns aber auch die Ueberzeugung aufdrängen, dass, so prompt die Effecte auftreten, so complicirt sie sich auch gestalten können, und dass nur eine genügende Würdigung derselben — denn mutatis mutandis werden sie sich auch unter pathologischen Verhältnissen ausbilden müssen — zu einer richtigen Indication für die Anwendung transportabler pneumatischer Apparate verhelfen kann. Auf diese beregte Indication an geeigneter Stelle demnächst etwas näher einzugehen, wollen wir uns noch vorbehalten.

Am Schlusse meiner Abhandlung angelangt, ist es mir eine angenehme Pflicht, dem Herrn Prof. Dr. Finkler, welcher mir bei Anfertigung jener mit Rath und That zur Seite stand, hiermit meinen herzlichen Dank auszusprechen.

Lebenslauf.

Verfasser, Richard Lenzmann, evangelischer Confession, bin am 14. März 1856 zu Mengede in Westfalen geboren. Mein Vater, der Landwirth Friedrich Lenzmann, ist mir leider am 9. Juli 1873 durch den Tod entrissen worden, während meine Mutter Wilhelmine, geb. Schulte-Meering noch in meinem Geburtsorte lebt. Den ersten Schulunterricht genoss ich ebendaselbst, besuchte dann die Rectoratschule in Hattingen, wo ich bis zu meiner Confirmation, um Ostern 1870, verweilte. Jetzt meldete ich mich zur Aufnahme am Gymnasium zu Dortmund und wurde in die Obertertia gesetzt. Mein Vorhaben, diese Schule ohne Unterbrechung zu absolviren, wurde dadurch vereitelt, dass mein ältester Bruder, welcher die Geschäfte meines damals schon schwachen Vaters besorgte, beim Ausbruche des deutsch-französischen Krieges zur Fahne berufen wurde. Ich sah mich gezwungen, das Gymnasium zu verlassen und in das elterliche Haus zurückzukehren, um meinem Vater zur geringen Stütze zu dienen. Länger als drei Jahre habe ich hier verweilt mit dem Entschlusse, mich der Landwirthschaft zu widmen. Gegen Mitte November 1873 gab ich jedoch diesen auf und nahm, um mich wieder für das Gymnasium vorzubereiten, Privatunterricht beim Herrn Pastor Richter in Bodelschwingh, einem kleinen Orte in der Nähe meiner Vaterstadt. Der aufopfernden Thätigkeit und dem liebevollen Eifer dieses mir in treuem Andenken bleibenden Lehrers und Freundes habe ich es zum nicht geringen Theile zu verdanken, dass ich, als ich

mich um Ostern 1874 wiederum zur Aufnahme am Gymnasium zu Dortmund meldete, für die Secunda reif befunden wurde. Diese Klasse absolvirte ich in einem Jahre und bestand, nachdem ich 2 Jahre in Prima zugebracht hatte, um Ostern 1877 das Abiturienten-Examen.

Jetzt begab ich mich nach Würzburg, um mich dem Studium der Medicin zu widmen. Während des ersten Semesters genügte ich daselbst meiner halbjährigen Militärpflicht mit der Waffe. Zu Anfang meines dritten Studiensemesters bezog ich die Universität Göttingen, woselbst ich am Schlusse des vierten Halbjahres, also um Ostern 1879, das Tentamen physicum machte. Von dieser Zeit an habe ich meine Studien in Bonn fortgesetzt, die ich während des Sommersemesters 1880 unterbrochen habe, welche Zeit ich in Berlin zubrachte.

Meine Lehrer waren die Herren Professoren und Doctoren:

In Würzburg: Emminghaus, Flesch, von Koelliker, von Sachs, Wislicenus.

In Göttingen: von Brunn, Ehlers, Henle, Marmé, Meissner, Riecke, von Uslar.

In Berlin: Frerichs, Hartmann, Henoch, von Langenbeck, Lewin, Schroeder.

In Bonn: Binz, Burger, Busch, Doutrelepont, Finkler, Koester, von Leydig, Madelung, von Mosengeil, Obernier, Ribbert, Rühle, Saemisch, Schaaffhausen, Schulz, Veit, Walb.

Allen diesen meinen hochverehrten Herren Lehrern spreche ich hiermit öffentlich meinen Dank aus.

Zu besonderem Danke fühle ich mich gegenüber dem Herrn Dr. Burger verpflichtet, bei welchem ich von September 1880 bis April 1881 die Stelle eines studentischen Assistenten an der Kinderpoliklinik bekleidet habe.

Thesen.

1. Die Nachwirkungen, welche sich nach der Anwendung transportabler pneumatischer Apparate innerhalb des Circulationssystems zeigen, sind auf nervöse Einflüsse zurückzuführen.

2. Die katarrhalische Pneumonie ist in ihrer ersten Entstehung kein entzündlicher Process des Lungengewebes.

3. Die sogenannten populär medizinischen Schriften, welche von wissenschaftlich Gebildeten dem Publicum geboten werden, bringen im Allgemeinen mehr Schaden, als Nutzen.

4. Die Perforation des Schädels ist, falls die Beendigung der Geburt mit Rücksicht auf das Leben der Mutter dringend erforderlich ist und jene mit dem Resultate eines lebenden Kindes auf natürlichem Wege als unmöglich erkannt wird, sowohl in wissenschaftlicher, wie moralischer Hinsicht auch bei lebendem Kinde gestattet, vorausgesetzt, dass die Mutter den Kaiserschnitt verweigert.

Opponenten:

Otto Durlach, Cand. med.
Heinrich Keberlet, Cand. med.
Arnold Roos, Cand. med.